

钱学森科学技术思想研究丛书

钱学森思维科学思想

卢明森　编



科学出版社

(N—0471.0101)

钱学森科学技术思想研究丛书

钱学森思维科学思想

www.sciencep.com


ISBN 978-7-03-033810-5

工程技术分社
电话：010–64033541
E-mail: yuding@mail.sciencep.com

定 价：98.00元



钱学森科学技术思想研究丛书

钱学森思维科学思想

卢明森　编

科 学 出 版 社
北 京

内 容 简 介

本书第一篇是钱学森对于思维科学理论体系、研究道路的全面论述；第二篇是钱学森关于思维科学的通信，与一些学者讨论了思维科学中的主要问题，重点讨论了从定性到定量综合集成法、从定性到定量综合集成研讨厅、大成智慧等新思想；第三篇是部分学者对思维科学若干问题的探索与实践，有助于深入了解思维科学。

本书是关于思维科学的著作，适合于想学习、探讨思维科学的读者，可供科研和工程技术人员、干部、教师、大学生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

钱学森思维科学思想 / 卢明森编. —北京：科学出版社，2012
(钱学森科学技术思想研究丛书)
ISBN 978-7-03-033810-5

Ⅰ. 钱… Ⅱ. 卢… Ⅲ. 钱学森(1911～2009)-思维科学-思想评论
Ⅳ. ①B80②K826.16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 041536 号

责任编辑：余 丁 魏英杰 / 责任校对：张怡君
责任印制：赵 博 / 封面设计：陈 敬

科学出版社 出版
北京东黄城根北街 16 号
邮政编码：100717
http://www.sciencep.com

中国科学院印刷厂 印刷
科学出版社发行 各地新华书店经销
*
2012 年 4 月第 一 版 开本：B5(720×1000)
2012 年 4 月第一次印刷 印张：25 1/4
字数：485 000

定价：98.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

谨以此丛书纪念

钱学森诞辰一百周年

曹刚川 二〇一〇年十一月

《钱学森科学技术思想研究丛书》编委会

《钱学森科学技术思想研究丛书》序

在现代科学技术革命、政治多极化、经济全球化与文化多元化的新形势下，人类面对越来越复杂的世界，我国社会主义现代化建设同样也面对各种各样的复杂性问题。突破还原论，发展整体论，在还原与整体辩证统一的系统论基础上构建现代科学技术体系，探索开放的复杂巨系统理论与方法，并付诸实践，已经成为现代科学技术发展进程中的重大时代课题。

早在19世纪末，恩格斯就曾经预言①，随着自然科学系统地研究自然界本身所发生的变化的时候，自然科学将成为关于过程，关于这些事物的发生和发展以及关于把这些自然过程结合为一个伟大的整体的联系的科学。1991年10月，钱学森根据现代科学技术发展的新形势，进一步明确指出②："我认为今天的科学技术不仅仅是自然科学工程技术，而是人认识客观世界、改造客观世界整个的知识体系，这个体系的最高概括是马克思主义哲学。我们完全可以建立起一个科学体系，而且运用这个科学体系去解决我们中国社会主义建设中的问题。……我在今后的余生中就想促进这件事情。"

在东西方文化互补、融合的基础上，钱学森提出的探索宇宙五观世界观（胀观、宇观、宏观、微观、渺观）、社会主义社会三个文明（物质、政治、精神）与地理建设（生态文明）的体系结构、现代科学技术体系五个层次、十一个大部门的总体思想、开放的复杂巨系统理论、从定性到定量综合集成研讨厅与大成智慧学等，构成了钱学森科学技术思想的核心内涵。可以说，钱学森科学技术思想的核心是对现时代科学技术发展趋势的总体把握，是依据现时代科学技术综合化、整体化的发展方向，对恩格斯关于自然科学正在发展为"一个伟大的整体联系的科学"这一预见的科学论证与深刻阐发，它必将大大推动科学技术的发展，必将成为中国社会主义现代化建设的强大思想武器。因此，深入学习、研究、解读、继承，并大力传播与发展钱学森的科学技术思想，是我们这一代科技工作者不可推卸的历史责任。

钱学森在美国的二十年，潜心研究应用力学、工程控制论和物理力学，参与开拓美国现代火箭技术，成就为世界著名的技术科学家和火箭技术专家；回国后的前二十五年，专心致志地领导、开拓我国导弹、航天事业，成为世界级的航天

---

① 马克思恩格斯选集（4卷）. 2版. 北京：人民出版社，1995：245.

② 钱学森. 感谢、怀念与心愿. 人民日报，1991-10-17.

发展战略家、系统工程理论与实践的开拓者和国家功臣；晚年的钱学森，在马克思主义哲学的指导下，在科学技术的广阔领域里不懈地探索着，从工程技术走向了科学论，成为具有大识、大德和大功的大成智慧者，具有深厚马克思主义哲学功底的科学大师和思想家。钱学森提出的科学技术思想具有非同寻常的前瞻性和战略意识，对于我国科学技术的发展与社会主义现代化建设是一座无价的思想宝库。我们这些来自不同学术领域的后来者，研究、解读他的创新科学技术思想，是有难度的，在知识域上也是有局限性的。现在呈现在读者面前的《钱学森科学技术思想研究丛书》只是我们学习、研究钱学森科学技术思想的初步成果。我们把本丛书奉献给读者，目的是希望尽我们的微薄之力，进一步推动钱学森科学技术思想的研究工作，诚恳地欢迎社会各界提出不同的意见，并进行广泛的学术交流。

在《钱学森科学技术思想研究丛书》陆续与读者见面的时候，我们衷心地感谢国内相关领域的学者、专家积极主动地参与研讨，尽心尽力地出谋划策，无私地贡献自己的知识和智慧；特别要感谢谢光选、郑哲敏院士和新闻出版总署、科学出版社的领导和同志们，正是他们的大力支持和鼓励，才使本丛书得以在钱学森百年诞辰之际问世。

《钱学森科学技术思想研究丛书》编委会

2010 年 12 月 11 日

前　　言

思维科学是钱学森于 20 世纪 70 年代末、80 年代初提出、倡导、创建的一门新兴的科学技术，在他所构建的现代科学技术体系中，这是作为与自然科学、社会科学、数学科学、系统科学、人体科学、地理科学、行为科学、军事科学、建筑科学、文学艺术并列的 11 个大科学技术部门之一。这是钱学森一生第三次创造高峰中的重要成果之一。

思维科学的产生并不是偶然的，既有客观根据，也有主观根据。客观根据是现代科学技术迅猛发展所提出的实际需求，特别是电子计算机所引起的技术革命的迫切需要；主观根据是钱学森所具有的广博的现代科学技术知识、参与领导我国研制“两弹一星”的丰富实践经验、中华民族传统文化的深厚底蕴以及他对祖国、人民的深厚感情。虽然他在美国学习、工作了 20 多年，基本上是属于西方教育培养出来的，并已成为世界一流科学家，但在他身上却没有奴颜媚骨，在及时掌握、认真吸取一切最新科技成果的同时，并不以西方马首是瞻，而是时时刻刻想着为中华民族争气，创建具有中国特色的科学技术。思维科学就是他所倡导、创建的具有中国特色的新兴现代科学技术之一。他在《关于思维科学》一文中明确地说：“我现在提议思维科学的一个别名是‘认识科学’，英文的 cognitive science。”他为思维科学构建了比较完整的理论体系，从战略上确定了要走智能机、人工智能的研究道路，并提炼出从定性到定量综合集成法、从定性到定量综合集成研讨厅、大成智慧工程、大成智慧学等极具前瞻意识的科学思想，成为思维科学理论中具有中国特色的重要内容，具有重大的理论与实践意义。

钱学森倡导、创建思维科学的 30 余年来，不仅得到各个领域专家、学者的支持，纷纷以饱满的热情投入这个领域的探讨与研究，形成一股思维科学学习、研究热潮，而且也引起国家的高度关注，对许多思维科学领域的工程技术项目给予大力支持，并列入“863 计划”、“973 计划”、“攀登计划”等重大科研计划中。但是，也不能不承认，30 余年来的思维科学发展也存在一些问题，其中认识上的分歧与混乱是根本。当然，钱学森提出思维科学以后，是允许有不同理解的，钱学森的思维科学思想也是发展的，这些不同理解也是思维科学兴旺发达的一种表现。但当这些不同理解严重影响思维科学正常发展的时候，就有必要“正本清源”，首先应当弄清楚倡导、创建者钱学森的思维科学理论体系到底是什么样，他所提倡的研究道路是什么，思维科学是否应该沿着这样的思路发展。如果承认他的思维科学理论体系、研究道路是正确的，也就有了分析、判定的标准与根

据，也就可以据此来统一不同的理解，把思维科学研究引上正确的轨道。这是当前思维科学发展所面临的重要任务。

钱学森的思维科学思想是由他所留下的论著来阐述的。这些论著，前期有正式发表的论文和学术报告，晚期虽然没有多少公开发表的论文或著作，但有大量书信与谈话。这些书信，开始是在一些相关的著作中零散刊载，到 2007 年《钱学森书信》的出版，已经初具规模。虽然还有一些文件、书信没有发表，但就研究钱学森的思维科学理论体系来说，已经初步具备条件。研究这些著作，是全面、系统、完整、准确地理解钱学森思维科学思想的必由之路，是当前及今后相当一个时期思维科学研究的重要任务。我们编辑、出版此书，就是完成这个任务的初步尝试。其中，已经发表的与思维科学有关的论文与学术报告找到 50 多篇，我们从中选出 25 篇，分成七个专题（章），是钱学森阐述思维科学思想的主要论著，这就是第一篇的内容，可以称为“论”；《钱学森书信》收录有 3000 多封信，其中与思维科学有关的书信有 500 多封，我们从中选出 143 封，分成四个大专题（章），13 个小专题，这就是第二篇的内容，这是与通信人讨论问题，可以称为“讨论”；就在这种心无旁骛、无忧无虑、轻松自由的学术观点碰撞中，迸发出许多精彩的思想火花，经过与其学生、同道反复的交流、讨论，逐渐形成新的观点、理论，从定性到定量综合集成法、研讨厅、大成智慧等光辉思想就是在这样的讨论中提出、形成的，只有把这些书信先后联系起来，才能理解这些思想形成的大致脉络。30 年来，许多专家、学者——特别是他的学生与同道，对钱学森的思维科学思想进行了广泛、深入的探讨，发表了很多专著与论文，但数量太多，仅我下载到的相关论文就有 3000 多篇，搜集到的相关著作也有 200 余本，我们只好从成就突出、探索有深度的论文中，经过一再筛选，选出 11 篇，分为四个大专题（章），九个小专题，这就是第三篇的内容；因为是对钱学森思维科学思想的探索或阐释，故可称为“探索”。读者可以从第一篇的论著中掌握钱学森思维科学思想的基本观点、理论体系，从第二篇的讨论中了解一些思想产生、形成的过程，从第三篇的探索中理解钱学森思维科学思想已经取得的成就和在某些方面具有的深度与广度。

钱学森是我国迄今为止罕见的科学家，不愧“国家杰出贡献科学家”这个光荣称号。早期在空气动力学、工程控制论、物理力学等领域的成就，早已为世界科学界所称道。他在参与、领导我国研制“两弹一星”工程中所做出的杰出贡献，为中国独立于世界民族之林、奠定大国地位，立下了汗马功劳，这是举世公认的。但是，他晚年站在战略科学家的高度对现代科学技术、教育事业、社会主义现代化建设所做出的卓越贡献，因有显著的前瞻性，还不太为世人所认识与理解，迫切需要进行全面、系统的研究。还有一些文件、书信和笔记，因为涉及方方面面的问题，暂时还不能公布，因此，研究钱学森的思想与贡献，是今后的一

项长期任务。钱学森的卓越成就与论著、高尚的品格与情操，已经成为中华民族精神宝库的组成部分，研究钱学森的“钱学”，必将成为一门重要学问，并对中国的社会主义现代化建设、现代科学技术的发展产生重要影响。

现在，钱学森已经乘鹤西去，他的嫡传弟子、学生与同道，也已进入晚年。我们殷切希望这些同他有过亲密接触的同事、学生、同道们，趁记忆清楚、尚能动笔、动口的时候，把有关钱学森的各种宝贵资料保留下来，千万不要留下遗憾；希望对钱学森的学术思想有一定研究、积累的其他专家、学者能够起到承上启下的作用，把研究成果整理、保存下来，为继承与发扬钱学森的学术思想发挥作用。尤其希望中青年学者充分重视钱学森的科学技术思想与高尚品格并继承与发扬，使中华民族传统文化中的这一宝贵的精神财富为中华民族的振兴、祖国的繁荣富强发挥更大的作用。这是历史赋予我们的不可推卸的责任。

编　者

目　　录

第一篇　钱学森论述思维科学的论文与讲话

第二篇 钱学森讨论思维科学的部分书信

第三篇　钱学森思维科学思想的探索

第一篇　钱学森论述思维科学的论文与讲话

第一章　倡导思维科学

1.1　电子计算机是不是技术革命?[①]

随着现代科学技术的发展，还有没有第二项技术革命呢？我们分析，电子计算机似乎也是一项技术革命。为什么电子计算机值得作为技术革命来提出呢？前面已经提到一点，就是说自然科学的基础科学归根到底是物理和数学；也说到化学作为应用物理的一门学问，出现了所谓计算化学，就是不用试验而是用电子计算机作为研究化学的手段。计算机还用来解决空气动力学问题。比如飞机、导弹、火箭在天空中飞，很重要的就是要研究它们在空气中运动时，空气和飞机、导弹、火箭有什么相互作用，如气流对飞行器的作用力有多大，气流与飞行器之间发生高速摩擦时对飞行器的加热作用有多大，等等，这个在过去都是靠所谓风洞来解决的。所谓风洞，就是把飞行器模型放在一个管道那里不动，然后用风扇、鼓风机、压气机把风吹过去，测量模型受了多大的作用。这是很好的办法。但是现在随着飞行器的不断发展，对风洞的要求越来越高，比如模拟一般的飞机在空气中运动，如果像我们民航机每小时七八百公里，折合下来，每秒钟 200 多米，这还好办，然而现在要搞超音速的飞机，速度大得多了，若是导弹，速度就更高了。声速是每秒 300 多米，导弹，特别是远程导弹，它重新进入大气层时的速度，是每秒 7 公里，是声速的 20 多倍，这时你要用原来的风洞就难办了，就得建设性能越来越高的风洞。不仅如此，随着飞行器性能不断提高，研制一种飞行器所需进行的风洞实验时间也急剧增长了，例如，对一种 30 年代的老式飞机，大约是 100 小时，而对一种现代大型旅客机，就需要 10000 小时。这些问题对风洞的要求就越来越尖锐了。正好这时候电子计算机出现了，所以现在就在研究不用风洞吹风，用电子计算机来算，当然，这需要计算能力很大的电子计算机。刚才说的要把化学算出来，那也要能力很大的计算机，这就是我们为什么不断地在研制计算能力越来越大的电子计算机的理由，每秒钟运算 100 万次的不够，要每秒钟运算 1000 万次的，现在正在努力做；1000 万次的还不够，还要做每秒钟运算 1 亿次的；这还没有到头，照需要来讲，每秒 100 亿次、10000 亿次的都要，

---

① 钱学森 1977 年 11 月 4、5 日在中共中央党校作学术报告：《现代科学技术》，1978 年 2 月 10 日修订，1982 年 9 月重印前加页注并附参阅文献。这是其中的一节，原题注有：“《现代化、技术革命与控制论》，《工程控制论》（修订版），序，科学出版社，1980 年版。”

而且现在来看，做这样的计算机并不是不可能的。这是从高速计算方面来看电子计算机和科学发展的关系。

另外方面，小一点的计算机，比如每秒钟运算几十万次到 100 万次的计算机，制造不太难，用于生产过程的控制，就可以大大促进生产过程自动化。不但如此，许多管理工作也可以用电子计算机来解决。现在我们国家计委一些生产统计报表就是用电子计算机来算的。计委大楼里有电子计算机，而且国家计委在建设一个全国的管理生产的电子计算机网，就是把各地区的生产情况，先送到地区的电子计算机，把它整理好了统计素材，然后再送到北京计委大楼里面的那个电子计算机，进行全面综合、归纳、统计。这个网正在建。即使这些仅是电子计算机的初步运用，那也解决了很大问题。从前统计报表，年终了，要把这一年的生产情况统计出来，那是得第二年下半年才能弄出来，现在用不着，几天就出来了。再举一个例子。长春汽车制造厂，过去两年来开始用电子计算机解决生产计划、调度和劳动工资管理方面的问题，也是尝到甜头的，以前一个分厂的计划，就得搞一个月才能搞出来，现在整个厂几十个分厂的计划，几天就出来了。这样，就把搞生产计划的同志解脱出来，可以深入到第一线搞调查研究，解决问题了。所以，在工厂管理方面，长春汽车制造厂已经创造了先例。这在国外是普遍用的。

电子计算机用于文献检索比人工效率高得多。情报资料、图书、文献浩如烟海，你要查一个东西可难啦。现在有了电子计算机，可以把这些资料存贮在磁带上，用电子计算机进行处理，可快了。同志们可以去搞电子计算机情报检索的单位，请他们表演，你出题吧，你要查什么题目，他就用打字机打进去，用电子计算机不要一分钟就回答出来了，把与你要找的题目有关的文献名称都能列出来，比如共有八条，然后看你要详细查哪一条文献，然后再把那一条文献的作者、发表年月、内容摘要等等显示出来，再问你要了解文献中哪一段更仔细的内容，你挑好后，他通过计算机在屏幕上就显示出了那一段的内容。你到资料室去查几天也查不到的东西，几分钟就查到了。这是现在完全可以做到的事了。

电子计算机还用于设计工作。比如飞机的设计，现在在国外已经完全电子计算机化了。从前，飞机方案定下来以后到全套图纸出来，大概需要两年半到三年的时间，现在用电子计算机，仅仅少量的人管一下，三个月就出来了。所以，从这一点看，用不用电子计算机，发展不发展电子计算机这项技术革命，不是可有可无的事情，人家三个月，咱们搞三年，你能赛得过人家？这是很清楚的嘛。这是一定要办的事。

这里，我给同志们提个问题，电子计算机能不能代替人搞一部分思维？我先给同志们讲一件事：去年，数学界曾经轰动一时，用电子计算机证明了数学上的一个所谓“四色定理”。什么是“四色定理”？这个定理是说你要画地图，不管是

什么样的地图，不管这个地图怎么交错复杂，如果要求两个相邻国家不能用同一种颜色的话，最多只需要四种颜色，三个颜色不行，五个颜色太多了，四个颜色就够了。就是这么一个定理，可是证明它可费了劲了，数学家经过上百年的努力还没有证明，在去年，两位美国数学家用电子计算机证明了。他们看到这个问题的证明不是不可能，只是证明的步骤、程序很复杂，第一步完了第二步，第二步完了第三步，接着是第三步、第四步、第五步、第六步……这么弄下去，大概有千千万万步，由人去搞，一天证一步、两步，一辈子也证不出来。他看到了这个问题，说让电子计算机去干嘛，让它干这个事，它快，每秒钟 100 万次、1000 万次。他把上计算机的程序搞好以后，交给计算机去干，结果确实复杂，一个高速度计算机也用了 1000 多小时才算出来，最后证明了“四色定理”。数学证明实际上是人的思维里面比较简单的思维，当然是很深刻的，但是并不太复杂，所以，可以利用电子计算机来进行。这是一个例子。这两位数学家特别提出来，证明“四色定理”本身不能看作是一个了不起的贡献，最大的贡献是运用电子计算机完成了这件人没有能够完成的事。

我们做科学工作的都有这样的体会，数学演算并不是什么了不起的事，无非是简单地说起来是 2 加 3 等于 5，8 加 3 等于 11 这一类的事。但是头痛的是，常常复杂的问题没完没了的就是这些事，你得一步一步弄下去。有的公式演算，不一定像数值演算，比如一个角加另外一个角的正弦是什么呢？是第一个角的正弦乘第二个角的余弦加第一个角的余弦乘第二个角的正弦。这样的事都是书本上早有的事，但是你就要利用这些关系从一步走向第二步，第二步再走向第三步，第三步再走向第四步、第五步，很烦琐，做科学理论研究工作的人把大量的时间花在干这些事。现在想一想，这些事电子计算机可以干嘛，这是死的，2 加 3 还不等于 5？还等于什么？8 加 3 不等于 11 等于别的？死的，完全可以在电子计算机上搞。所以，计算数值，演算方程式，这些事用电子计算机来做，把人从繁重的、比较简单的脑力劳动中解脱出来。

我最近想，什么叫在机关办公？无非是这样：有一件事情来了，先看看党中央、国务院或其他有关部门有什么规定，你去查吧，这个规定那个规定，不犯规、按规定应当怎么办，如果规定在这个问题上不是那么太严的话，最后可能有两个办法办这个事，或者是三个办法办这个事。现在，这个过程都是机关人员去查，然后他提出一个意见，送到领导那里，领导看哪一个意见总的看起来比较好，批一下。办公办公，一般就是这么办的。其实，这样的过程完全可以用电子计算机办，把那些规定储存在电子计算机里，一个事情来了，叫计算机去查嘛，那多省事呀！我看这样办公快极了，夜里人不上班也可以干，一天不知道办多少事。

举这么几个例子，数学证明、数值计算、数学演算、生产过程自动化、计划管理、文献档案的检索，以至于将来的公文处理，这一些都可以用电子计算机。就如工作母机是人手的延伸，机器是人造出来的，但比人手做得好。电子计算机也是人造出来的，当然不可能代替人的全部思维，但是可以帮助人思维，而且更快，更精细，因此能够完成光靠人力无法完成的课题。我们说计算机能代替人搞一部分思维，因为“我们的意识和思维，不论它看起来是多么超感觉的，总是物质的、肉体的器官即人脑的产物。物质不是精神的产物，而精神却只是物质的最高产物。”[1]既然是物质的产物，一旦我们掌握其一部分规律，就能用一台合适的机器，用电子计算机这个物质的机器来做这一部分工作。不然我们就陷入唯心论。但我们说计算机永远也代替不了人的全部思维，因为第一，计算机是人造的，人是计算机的主人；第二，当人从简单的、计算机能搞的思维解脱出来时，人的思维又可以向更高一级发展。人是会越来越聪明的，计算机总是第二，不可能完全代替人的思维。不然我们就要陷入机械唯物论。

总的来说，这一段话就是说电子计算机看来像是一项技术革命，它将影响我们整个生产以至于社会活动。发展电子计算机这门技术，是我们实现四个现代化中又一个非常重要的技术革命。

选自中共中央党校哲学教研室：《现代科学技术》（第一辑）
第 16～21 页，1982 年 9 月。

1.2　首倡思维科学①

1.2.1　电子计算机能办的事

现在我讲第四个题目：人和电子计算机的分工协同问题。

电子计算机的使用在前面各节已经多次谈到，我们现在要问：电子计算机到底能干什么事？人能叫电子计算机干什么事？这就涉及电子计算机的计算是按什么规矩进行的？总不能叫电子计算机做它计算规矩之外的事。数学的推理规章，是数理逻辑或者叫数学基础学。这门学问当然也不是幻想出来的，而是人类上百万年，特别是最近几百年的历史当中，在亿万人的社会实践当中总结出来的道理。它代表了人们对客观世界的认识。这门逻辑学、数理逻辑，代表了我们对世界中各种运动规律的认识。逻辑学是发展的，数理逻辑也是发展的。数理逻辑不

---

① 钱学森 1979 年 4 月 23、24 日在中共中央党校所作学术报告：《现代科学技术的发展》，同年 8 月 6 日修订，1982 年 9 月重印前加页注，并附参阅文献。这里只选其中的两节。该标题为编者所加。

过是用数学的形式把逻辑学形式化了。应用数理逻辑，我们能得到一个结论，就是所有用数理逻辑可以办的事情，电子计算机也都能办。这是非常重要的一个结论。在没有电子计算机的时候，我们常常碰到计算太烦了，推理太烦了，因此要进行大量研究工作去找捷径。现在有了电子计算机，我们就从这类劳动中解脱出来，只要有道理，不论是聪明的道理还是笨的道理，反正上了电子计算机原则上总可以把结果搞出来。当然，这只是讲原则上，就是现在每秒钟运算1亿次的电子计算机，那是很大的电子计算机了，但也有数理逻辑说能够做的题目，它做不了，或者计算的时间太长。

早在100多年前，数学家就发明了一个猜想，这个猜想就是所谓“四色定理”，说画地图，不管多么复杂的地图，只要四种颜色就够了，三种颜色不够，五种又太多了，四种正合适。在以前，数学家要证明这个定理碰到很多困难，因为一步一步推理需要做的事太冗长了，以至于一个数学家一生也做不完。所以，这个猜想只能够说可能是对的，但是没有得到证明。一直到1976年，美国两位数学家才用电子计算机完成了这个定理的证明，这是用电子计算机费了1200个小时，做了200亿个逻辑判断，才完成的。有人估计过，要是没有电子计算机，用人工算要用30万人年，也就是一个人要搞30万年。这是按每日工作24小时，不睡觉算的。这是说明电子计算机能办的事的一个很好例子。

这种情况在技术科学的研究当中也是出现的。我们过去搞应用科学的研究，要解决一个实际问题常常发现所需要的计算量太大。怎么办呢？于是就这样选择一个模型，这个模型只把现象的主要矛盾或者必要的次要矛盾包括进去，把其他一切可以舍弃的东西舍掉，以便简化问题。有的时候，就是这样做了，计算量往往还是太大。那怎么办呀？只有再牺牲一点问题的精确度，再简化一点，以求最后有一个不太准确的结果，总比没有结果好嘛。现在有了电子计算机，改变了这个情况，应用科学，基础科学，工程技术里面都广泛的用电子计算机，用电子计算机可以算得比以前更精确得多，解决问题快得多。现在连工程技术设计的绘图也是用计算机来绘的。

这里我说一个例子。最近我国空间技术代表团到美国去谈判进口通信卫星。在美国有好多公司来做买卖，代表团就跟他们提出这颗卫星的性能要求，请他们投标。头天这么讲了，第二天代表团到那个准备投标的公司去参观时，一坐下来，就发现每个人面前都摆好了一厚本子，这是根据中国代表团对卫星提出的要求搞的投标报告，整个卫星及各组成部分的技术性能、尺寸大小，以及需要多少钱都算好了，而且印好了。我们的代表团就很吃惊，说怎么搞得这么快呀？公司的经理就对我们说：这很容易，计算程序事先都排好了的，放在电子计算机里，你们昨天下午跟我们讲了要求，我们打了一个电话把这些要求的数据告诉我们主

管的人员，输入电子计算机，按几个按钮，结果就打印出来了，图也画好了。

总的说起来，凡是能讲清道理的、有逻辑的事，也就是一个好老师能通过讲解教给他的学生的，也可以“教给”电子计算机去做。《北京日报》最近报道，北京地区的科技工作把著名中医关幼波教授（著名的肝病专家）治疗肝病的整套理论、经验都“传授”给谁了呢？不是传给了一个学生，而是传给了一个电子计算机。现在这个电子计算机就根据关教授的理论和经验，把肝病的 8 个主型，36 个亚型，还根据病人的不同情况来调整他们的处方，大概可以开出 2 亿多个不同的处方，而且经过关教授鉴定，是正确的。看病人，让机器开处方，开完处方给关教授看，问开得对不对？关教授一看说：开得好呀！

这样一个例子很有说服力。很形象地说，就是所有能够讲出道理的事都可以传给电子计算机去做。可能有这样的问题，就是太复杂了，现在的电子计算机的能力还不够，那么下一代的计算机可能做到。若还不行，则再下一代，总可以做到。从数理逻辑上能够讲清楚的问题，我们迟早都可以让电子计算机去做。在命题、模型这一些工作建立起来以后，推理、证明和演算，都可以让电子计算机去做。

1.2.2 思维学[2]

最后剩下的不能让电子计算机解决的问题，就是连专家、连老师自己都讲不清楚的问题。问题你讲不清楚，电子计算机也没法做。用电子计算机能够解决的问题，也就是数理逻辑能够解决的问题。这是人的思想里面叫逻辑思维或者抽象思维的那一部分。这个名词不一定恰当，但是习惯叫逻辑思维或者抽象思维。但是，人的思维远远不只限于这一部分。第一，作为一个科技工作者来说，我有这个体会，就是在建立命题、模型的过程中，突发性是很重要的。我没有法子把它定个什么说法，就叫做创造性吧。当然，这在别的国家，在资本主义国家，常常叫灵感了。灵感，“神灵的感应”，因此大家常常不大愿意听。哪有那回事呀，有什么神灵的感应呀。灵感当然也是从实践来的。就是这个创造性，突发的创造性，讲道理讲不清楚。它不是逻辑思维，是另外的一种思维。但是肯定也是从实践当中来的。因为很清楚，要不是从实践当中来，小孩子刚一生下来不就能灵感一番，就能创造了吗？没有这样的事情。老师跟学生说，这一部分我没法教你，你自己去搞吧。什么叫搞？搞也就是实践嘛，无非碰嘛，碰来碰去，嗳，碰对了。从前鲁迅先生就讲过他怎么学习做文章，说他的老师从来没有教过他写文章怎么写。反正是天天写，写来写去，写来写去，后来他说老师在他的文章上面用红笔画圈画得多了，最后不改了，尽画圈了，行了，这就叫学会了。我们做科学技术工作，做研究工作，如果要教学生，教学生怎么创造这就没法教，只能要学生自己在实践当中学会。

文艺工作者，艺术家说的形象思维恐怕现在也是属于这个范围，说不清楚。是不是永远说不清楚？我不相信永远说不清楚，我们只是还没研究这个问题[3]。我们要把逻辑学扩大为思维学，包括一部分我们已经研究得很多的而且很有成绩的逻辑思维，还要包括其他的人的思维过程。这在外国已逐步地引起重视，他们是从搞机器人、人工智能这个方面考虑的。搞人工智能、机器人，就要搞一个人工智能、机器人的理论。这个理论，他们叫认识科学。我们用“思维学”可能确切一点，就是包括逻辑思维，也包括其他的各种思维过程，像形象思维等等，研究它们的规律。

怎样研究这个规律？一条途径是宏观观察和试验的方法，即心理学的方法，从心理学的角度来研究人的思维过程。再一条途径就是用微观的方法直接来研究人脑，即神经生理学和脑神经生理学的方法，这在最近发展得很快的，尤其有了电子计算机在旁边作为研究参考，电子计算机是怎么工作的，然后再反过来看人脑是怎么组织的。现在说人脑大概有 100 亿个神经细胞元，每一个神经细胞元又有几千个胞突接触。每一对胞突接触实际上又等于是起了一个信息开关的作用。所以，人的脑子大概有 10^{14} 个开关，就是 100 万亿个开关，其复杂的程度比我们现在最复杂的电子计算机还要高，而且这是个简单的描述，里面到底是怎么结构的，现在还正在研究。

利用现在的研究工具完全有可能对于人脑的作用进行深入的分析，探索它的作用。一条路是心理学，这是宏观的方法，还有一条微观的道路，真正分析到脑的细胞元的作用。从这两条路共同来研究人的思维过程，我想是有希望的。这样就可以使我们从已有的概念当中慢慢的解放出来。我们可以逐步地认清楚人脑和电子计算机有什么区别，让电子计算机跟人脑有一个恰当的分工。不像现在，我们不太清楚，也许我们没有发挥电子计算机的最大作用，我们也同时没有发挥人脑的最大作用。我们把分工搞得很不合理。如果我们把思维学，把人脑的作用搞清楚了，有朝一日我们也会把人的创造性之所在搞得更清楚一些，当然我们就可以把人跟电子计算机的分工搞得更合理一些了。

也许又有人说了，机器能够干的事越来越多了，而且像在前面讲过的那样，用脑子记住知识也不必了，那人还干什么？我是不担心的：人从笨重的脑力劳动解放出来之后，人脑总是要向前发展的。比如说，现在的人，脑子恐怕比我们祖先的脑子好一些吧。在原始社会，人的脑子能够想的事比我们总是少一些。而且已证明，人的脑子就是在现代还是在不断的发展的。比如说脑的重量，这个人的脑子比那个人的脑子重，并不意味着这个人比那个人更聪明一些，这是事实。但是，我要说的是脑的平均重量，一代一代的平均的脑的重量是在增加的，这证明人脑子还是在发展的。最近看到一个统计资料，现代英国人，成年男性的大脑平均是 1424 克，每年平均递增 0.66 克。成年女性的平均脑重量是 1242 克，每年

平均增长 0.62 克，都在增长。所以，不必担心被机器做了一部分事情以后，人脑子就没有事做了。人的脑子还会不断地发展。

选自中共中央党校哲学教研室：《现代科学技术》（第一辑）第 51～96 页，1982 年 9 月。

1.3 自然辩证法、思维科学和人的潜力

现在我国致力于研究自然辩证法的人很多，有专门的学术组织如自然辩证法研究会和分会，出刊物、开学术讨论会，气氛热烈。这是很可喜的，也是拨乱反正后的新气象。

人多议论多，大家各抒己见而一时统一不起来，也是常情；不久前《光明日报》对去年 10 月份在成都召开的全国自然辩证法理论讨论会的报道[4]，就说明这个现象。看了报道，也引起我的一些想法，本文就讲讲这些不成熟的意见，作为参加讨论，我想的也比较宽，不限于自然辩证法本身。当然这些话一定会有不妥或谬误之处，恳请大家批评指正。

1.3.1

什么叫自然辩证法？现在有些同志想把自然辩证法的研究范围扩大到远远超出恩格斯的原意，说这才是自然辩证法的现代化。例如他们要引入控制论、引入系统工程、引入科学学。其实控制论是技术科学[5]，系统工程是工程技术[6]，科学学是社会科学，怎么能都当作是自然辩证法呢？自然辩证法总不能无所不包地把现代科学技术的各个分支、新学科都吸收进去，如果那样，还有什么学科的合理划分和科学技术的体系结构了呢。

那么什么是恩格斯的原意？我想最好还是读一下 1873 年 5 月 30 日恩格斯致马克思的信[7]和《自然辩证法》（手稿）。在这封信里和《自然辩证法》正文里，恩格斯讲的内容只是辩证唯物主义的自然观，也就是用辩证唯物主义来观察自然界。再具体化就是物质和运动之不可分离，即物质是运动着的物质，而运动是物质的运动，再进而分析物质运动的不同层次以及层次之间的过渡，由此讲到学科的划分。概括起来就是这些内容。这就是自然辩证法的研究范围。至于《自然辩证法》中还有《札记和片断》，其中讲到科学史，具体的学科，我认为应该理解为恩格斯写作时的准备工作，不能就认为是正文，不是一定要纳入《自然辩证法》的。因而科学技术史，科学技术体系学也不一定非作为自然辩证法来研究不可。这里我认为我们要实事求是，不要在马克思主义导师们遗留给我们珍贵的手稿里加上他们本来没有的含义。

再有一点应该引起我们注意的，是自然辩证法作为一门学问在整个现代科学

技术体系中的位置。在恩格斯的时代为了建立马克思主义的哲学，必须吸取人类从全部实践，包括生产斗争、阶级斗争和科学实验的经验，精炼概括；这当然要涉及自然界的辩证关系和社会的辩证关系。这就造成一种习惯，好像马克思主义哲学包括三个组成部分：辩证唯物主义、历史唯物主义和自然辩证法。但到了今天，马克思主义哲学已经确立了，我们应该把它的总论明确为辩证唯物主义；辩证唯物主义要指导自然科学和社会科学的研究，也要从自然科学和社会科学研究的新成果中吸取营养，不断丰富和深化马克思主义哲学即辩证唯物主义。当然这个关系也同样存在于马克思主义哲学和一切其他科学技术（这里科学技术包括社会科学）学问之间。这种交流要通过两道桥梁，一道桥梁是自然辩证法，是对自然科学的；一道桥梁是历史唯物主义（社会辩证法），是对社会科学的。不喜欢叫桥梁，称分论也可以；总之，辩证唯物主义与历史唯物主义和自然辩证法不应平列，后两者要在辩证唯物主义下面一点，而且它们又各有自己联系的一类科学技术。

前面讲的是今天应该做到的事，当然这是理想，实际并非完全如此。一方面马克思、恩格斯、列宁以后的一些自称为马克思主义的哲学家，并没有把科学技术的新成果用来丰富和深化马克思主义哲学，往往反而错误地去批判这些新理论，说是反马克思主义的。例如摩尔根遗传学和基因的发现，化学键理论的共振论，控制论，人工智能，电子计算机代替人的一部分脑力劳动等等都曾受到过某些批判。这些批判都被事实证明是错误的，必须全部收回。也许就因为有这些缺点，又引起另一方面的反应：有那么一些科学技术工作者不承认马克思主义哲学的基本原理对科学技术研究的指导意义，指责“伟大的科学家，渺小的哲学家”为一顶帽子，说去研究“彭加勒，马赫之后的科学家，在传统、精神、哲学等方面究竟有没有值得去虚心地学习的东西”是一块禁地，总认为我们这里不自由，从而对现在的资本主义国家的所谓学术空气却很向往。这样的争论有什么好处！

出现这两方面的情况是令人遗憾的，因为我们知道自从恩格斯写《自然辩证法》（手稿）之后，自然科学已经出现了翻天覆地的发展。相对论和量子力学早已确立而代替了经典力学；物质运动的层次，从微观世界里讲就增添了原子核、基本粒子、层子这三个层次，从宏观世界里讲也扩展到了星系、星系集和星系集的集团等新的层次。自然辩证法工作者和自然科学工作者本应携起手来，共同开发这块广阔的新园地，正好加深我们对物质运动层次无穷的基本认识。大家第一应该互相谅解，第二应该互相学习。自然辩证法工作者要认真学习科学技术，起码学到高级科普期刊《科学》的水平。而自然科学工作者要认真学习哲学，当然也要看点唯心主义哲学的书，有比较才知真和假。有了这个基础，两方面的同志就可以举行一个个领域的专题讨论会，如基本粒子物理、分子生物学、天文学等等。我很希望自然辩证法研究会能促进这件事。除了办讨论会之外，也办一些哲

学进修班和现代科学技术进修班。为了同一理由，尽管中国社会科学院哲学研究所已经有自然辩证法研究室，在中国科学院建一个研究自然辩证法的单位也是适宜的。也不是要所有的自然辩证法研究者都集中到上述工作中来，还有许多事情可以做。例如在医科高等院校工作的自然辩证法同志可以同医务人员一起，研究中医西医的结合以促进医学发展的问题。又如爱好史学研究的，可以转而专门研究科学技术史。有的也许已经开展了科学学的研究，那也可以继续搞下去。有的有志于科学技术研究工作的组织管理，那就可以搞科研系统工程。

1.3.2

我们说自然辩证法是联系自然科学和工程技术的，历史唯物主义（社会辩证法）是联系社会科学和社会现象的。但这样讲也有一个问题：现代科学技术已经出现一些介乎两者之间的学问，即一方面是改造自然世界，而另一方面又是改造人类社会的问题。例如工程技术就总有经济方面的因素要考虑，而在新出现的一大类系统工程中，如科研系统工程、农业系统工程、企业系统工程、工程系统工程等，社会科学方面的因素就更为重要了。再如人口学、未来学、科学学那更是在自然科学和社会科学之间，两方面兼有的学科。

其实人类掌握了客观世界的规律的目的不仅在于适应客观世界，更重要的是要利用这些规律去改造客观世界，而改造的方向就必然联系到社会，最终是改造我们的社会。前面列举的工程技术都是如此。我们可以举环境科学为例，它要涉及生态系统，这是自然界，也要涉及工农业生产的结构，这就是社会了。我们也要注意把综合自然和社会两方面的科学成就和实践经验及时总结提高，概括到马克思主义哲学中去。

综上所述，我感到当前马克思主义哲学的研究应该把大约 100 年来现代科学技术，包括自然科学、数学科学、社会科学、技术科学和工程技术的极其丰富的成果加以提炼，用来发展马克思主义哲学。与此相比，去推敲过去哲学家们的著述，不能不说是次要的。向前进总比往后看更重要一些，也该多花些气力。

1.3.3

马克思主义哲学在辩证唯物主义这个总论下，除上面已经讲到的自然辩证法和历史唯物主义（社会辩证法）之外，还有另外两个组成部分：辩证唯物主义的认识论和辩证逻辑。这方面意见也不一致，也有一些自然辩证法工作者认为认识论和方法论都可以归入自然辩证法，因为研究自然科学离不了它们。但我看还是不归入自然辩证法为好，因为认识论和方法论并非自然科学所独有，其他学科也离不开它们；而且在现代科学技术中所用的研究方法也逐渐统一了，不能区分自然科学的方法论和社会科学的方法论。更进一步，我认为问题还不在于马克思主

义哲学的这种部门划分，而在于现代科学技术的实践，正预示着更重大的变革：思维科学的出现。

引出这项变革的是电子计算机。电子计算机是毛泽东同志指出的由重大技术变革形成的技术革命[8]，它和历史上的蒸汽机、电力和现在的核能并列的技术革命。电子计算机怎么会引起思维科学这个问题呢？这是电子计算机作为技术革命的一个重要问题。

先要从现代数理逻辑的一个结论说起。这个结论是：所有用数理逻辑可以解答的问题，电子计算机都能解答。也可以换用通俗一点的话讲：凡是一位老师能讲清道理的事，老师能通过讲解教会学生去做，那老师也能教会电子计算机去做。去年《北京日报》报道[9]，北京地区的科技工作者把著名中医肝病专家关幼波教授治疗肝病的整套理论、经验都“传授”给一台电子计算机了。计算机能根据肝病的 8 个主型，36 个亚型，以及具体病人情况来调整处方，大概可以开出 2 亿多个不同处方，而且每次都开得正确，得到关教授的肯定。这不就说明用数理逻辑可以解答的问题电子计算机也能解答吗？

当然这就要我们去研究如何用数理逻辑去解答问题，也就是第一，能不能得到答案；第二，用什么逻辑演算方法，如何一步一步算。研究这一门的学问，叫算法或算法论。当然，即便算法论说某一些问题能算，有算法，也不见得现在就有电子计算机能解答这个问题，困难在于算法太笨，用现有的最快最大的电子计算机算一万年也算不到结果。一个有趣的例子就是电子计算机下国际象棋：在美国目前最好的电子计算机棋手叫 Belle，是贝尔电话实验室的两位科学家 Thompson 和 Condon 搞的，Belle 在走棋子时能每秒检验 15 000 棋子位置，但在正式棋赛所要求的两小时走 40 步的速度下，胜不过人的象棋大师！Belle 的评定是 1 900分（E 级从 0 分到 1 199 分，D 级从 1 200 分到 1 399 分，C 级从 1 400 分到 1 599 分，B 级从 1 600 分到 1 799 分，A 级从 1 800 分到 1 999 分；能手从 2 000 分到 2 199 分，大师从 2 200 分起），而当前的世界冠军 Anatoly Karpov 的评分是 2 705 分。对棋的残局 Belle 的能力尤低，胜不过一般进入棋赛选手的一半，虽然在开局时能胜过 95%的选手。所以人到底比电子计算机强！据说电子计算机计算程序的弱点在于不能从全盘敌我双方棋子的布局，通盘估算形势；而这在残局子少时，人的这方面能力就十分突出[10]。人不是靠算，而是靠认出形势。

人的这种长处，也许就是我们说的智慧。这一对比，对电子计算机的专家，特别是软件工程师和软件科学家来说是一个很大的压力，促使他们问：能不能使计算机变得聪明点，不再那么笨？这就是所谓人工智能的研究。它是 50 年代开始的，经过 20 年的工作，我们现在已经知道要解决这个问题需要掌握的几个方面：第一是把问题的有关因素明确下来，因素之间的关系明确下来，也就是把问题在问题空间摊开，叫做问题的表达（representation）；第二是开始找问题的解

(search)，是从不知到知，因而是盲目的，所以往往结果是不成功的，不合格的；第三是从失败中认识到问题空间的某些特征，即图像识别（pattern recognition)，找解可以避开不大会成功的途径；第四是学习（iearning)，即总结以前的经验；第五是程序（planning)，也就是把开始的盲目性变为有目的地去找解，这就大大提高求解的效率，最后也许计算机能达到一定程度的综观全局的归纳(induction)[11]。其实列出这几个方面只不过是一个工作大纲，具体工作还得一点一点做起。也还有许多细节以及重要环节没有列出，如从第二到第三、到第四都有一个记忆的问题，记忆就还有个语言问题。此外还有一门与人工智能共同生长起来的所谓“认识科学”（cognitive science[12])，也在研究这些课题。人工智能和认识科学是两门发展很快的现代科学。

这是从计算机的观点来看问题，要使机器更聪明些。当然还有另一个方面，那就是回过头来看看人脑，因为人脑是人的智慧所在，这就是神经解剖学和神经生理学所研究的对象。研究这两门科学是需要非常细致的工作的，实际上直到20世纪初才开始找到必要的工具。所以尽管脑的作用早就认识到了，但神经解剖学和神经生理学的大踏步进展还是近一二十年的事。最近美国高级科普刊物*Scientific American*[13]专门发了一期讲这件事。虽说有很大进步，但离了解大脑的全部功能还远得很，我们也许仅仅知道问题的概貌而已。人脑有大约几百亿个神经细胞元，每个神经细胞元又大概有几千个胞突接触，所以总起来人脑可能相当于一台有 10^{14} 或 100 万亿个开关的计算机！但有一点和现在人造的电子计算机不同，神经细胞元之间的联结，看来不是完全固定的。一个人的大脑左右两个半球就不完全相同；决定人生长发育的遗传密码 DNA 也不能完全管到大脑结构的细节。这结构细节非常重要，它可以随着人的实践而改变、而发展。人比猴子聪明，这是先天的，但人的智慧看来却大部分是后天的。

再看又一方面的研究，心理学的发展也是如此。心理学已经过 100 年的曲折道路。我国心理学工作者在辩证唯物主义指导下，总结这百年的实践经验，认为心理是脑的机能，是客观现实的反映，我们要防止心理学生物学化和心理学社会化的两种偏向；也就是说，是人脑这个物质的东西在思维，但思维的功能是受社会实践影响的。这个结论[14]是同神经解剖学和神经生理学的结论完全一致的。一个宏观，一个微观，有总的相同看法，是令人高兴的。

经过以上几段的说明，我们看到不论从计算机的观点还是从人脑思维的观点，人之所以比现在的电子计算机强是可以理解的；或者说，我们认为人的思维过程是可以理解的。不但如此，而且有具体研究途径，即通过四门科学：人工智能、认识科学、神经生理学（神经解剖学）和心理学。这个研究范围要比逻辑学广得多，它包括了人的全部思维，包括逻辑思维和形象思维。我们也可以称这个范围的科学为思维科学。

思维科学是一大类科学，除了已经讲到的人工智能、认识科学、神经生理学（神经解剖学）和心理学之外，还有语言学、数理语言学、文字学、科学方法论、形式逻辑、辩证逻辑、数理逻辑、算法论等。和思维科学有密切关系的还有数学、控制论和信息论等。这样，长期以来分散而又不相直接关联的学科就可以有机地结合成为一个体系了，而且从数理逻辑引入了精确性。这是由于电子计算机技术革命带来的现代科学技术体系结构的一个发展动向。如上所述，它把现在作为哲学的一个部门的辩证逻辑分化出来纳入思维科学，把现在有人作为自然辩证法一部分的科学方法论也纳入思维科学，而哲学的又一个部门，辩证唯物主义的认识论就作为联系马克思主义哲学和思维科学的桥梁了。这可以说是科学技术体系的一个重大改组。当然，这些考虑离开建立思维科学的体系还有相当一段路，比如上述各门学科之间的关系我们也不很清楚，周建人同志说思维先于语言文字[15]，这是对的，其他就知道得不多了。但如果我们积极推动这方面的科学研究，建立并加强各专门研究机构，那就可能不要等到 20 世纪末，思维科学的体系就可能建立起来。

1.3.4

发展思维科学的一个效果，就是原来研究人工智能的目的能实现了，造出更聪明的计算机，叫计算机代替人的脑力劳动的更多一部分，人就能从脑力劳动中更多地解放出来。也许有人要问，机器能够干的事越来越多了，那人还干什么？我想这不应该成为问题，人从比较简单的脑力劳动解放出来之后，人脑就去解决更难更高一级的题目，从而促使人脑向前发展。人类的历史不就是如此的吗？在原始社会人的脑子能想的事总比现在少些，我们现在的脑子总比我们的祖先的脑子好些吧。虽然我们不能一定说一个人的脑重就代替一个人的智慧，但平均的脑重却代表脑的潜力。现在人的脑重就比我们的祖先重些。一个英国统计资料[16]说现代英国成年男性平均脑重 1424 克，每年还在增长 0.66 克，现代英国成年女性平均脑重 1242 克，每年还在增长 0.62 克，都在增长。因此人的脑子还是在不断发展的，计算机可以因为思维科学的发展而造得越来越灵，能代替人的更多的脑力劳动，但计算机总是人造的，它总赶不上制造它的人。

发展思维科学的又一个效果是使我们懂得如何更充分地发挥人脑的能力。比如人脑有创造的能力，这不是逻辑推理而是思想的飞跃，是所谓“灵感”。当然灵感也是从实践经验的总结提高得来的，要不是从实践当中来，小孩子刚一生下来不就能灵感一番，就能创造了吗？没有这样的事。而且创造的能力、灵感，是无法说清楚和无法教学生的。记得鲁迅先生就讲过他是怎么学习做文章的：说他的老师从来没有教过他文章怎么写，反正是天天写，写来写去，后来他说老师在他的文稿上画的红杠子慢慢少了，加圈多了，最后不改了，尽画圈了，这就叫学

会写文章了。这说明人的脑力劳动中最深奥的是创造，而现在因为我们不了解创造性的过程，不了解创造性思维的规律，无法教学生，只能让学生自己去摸索，也许摸会了，也许摸不会。如果我们发展思维科学，那就可能有朝一日我们懂得创造的规律，能教学生搞思想上的飞跃，那该有多好呵。

从辩证唯物主义来看，人胜于计算机，这也将是思维科学的一个结论。就在今天的西方国家，他们那里广泛地应用电子计算机来代替人的不少脑力劳动，但一说到领导决策，他们总是说不能靠电子计算机。王寿云、柴本良、陈宝廷等同志在《从领导艺术到软科学》[17]一文中认为这门学问，领导的科学，就是国外的所谓软科学。我想，因为现在思维科学尚在幼年时代，软科学也不是真正的科学，领导的学问也处于从领导艺术转化为领导科学的过程中，领导工作的“艺术”成分还占很重要的位置。将来呢？将来思维科学发展了，领导工作中的一些思维规律搞清楚了，变成科学了；但人脑又向前发展了，领导艺术又会有新的、还未总结为科学的东西。所以软科学总有点“软”，软科学是个很准确的词。

1.3.5

前面讲的有关思维科学的事说明人的脑力劳动能力还有潜力，人还可以比现在更加聪明，具有更大的智慧。但我想这只是人的潜力的一个方面，我们还应该考虑其他方面。

一件要研究的事是我国从千百年来就流传不断的气功。气功有硬气功与软气功两个分支。硬气功讲的是徒手断石板，赤身抗刀斧，软气功讲的是祛病保健。硬气功与体育有关，大家在电视节目中看到许多惊人的表演，可叹观止。但我看这是一种精心设计的演出，也包括了一部分本来大家知道的力学原理，用得很巧妙罢了，这是可以用现代科学技术已知的理论加以解释的[18]。把这一部分从硬气功中分出去，那么硬气功和软气功就可以结合成一件事：人能通过有规律的、有意识的锻炼，用神经系统去影响人身的机能，即“练功”，逐渐发展一般没锻炼的人所不具有的身体机能，能“运气发功”。这个现象近来已得到许多科学技术工作者的注意，并作了初步的定量测试[19]，它也得到我国心理学家们的肯定，认为这为人的心理能动性反映在调整人体内部活动方面提供新的认识。所以气功说明人还有一般所不认识，也因而未加利用的能力，这也是人的潜力。

近两年还不断在报刊上载有关于十岁左右孩子能以耳认字、辨色，能腋下认字。对此有争论，有人不信，说是弄虚作假；有人信，说作了比较严格的测验，是什么因为人体有第七感受器[20]。我认为值得注意的一点是：具有这种功能的都是十岁左右的孩子，再小也不行，再大也不行。那这是不是因为太小了神经系统还没有发育到有这种可能；而岁数太大了，又因这种功能久久不用而退化、消失了呢？有争论不怕，应该深入下去，测试工作做得更严密、更全面些，一定要

刨根问底。

这几件事都指出人还有潜力没发挥出来。我们可以反过来想想人现在的能力，不管是体力劳动的能力还是脑力劳动的能力是怎么从人的祖先逐步发展而来的。恩格斯在《自然辩证法》中有一篇《劳动在从猿到人转变过程中的作用》，这是大家所熟知的，这里的论点是劳动创造了人的世界，也在这过程中创造了人。但从猿到古代人，再从古代人到现在的人，改造人的过程不是人所自觉的，人没有能动地去挖自己的机体所具有的潜在能力。一切都是通过体力劳动和脑力劳动，自然而然、不知不觉地在进行的。那现在呢？今后呢？我想从现在开始，我们应该把这个过程从不自觉变为自觉，利用现代科学技术的工具和方法，从思维科学，从气功，从一切潜在的人体机能，去开发人的潜力。我们要建立专门的强有力的研究队伍，特别在生理学和心理学方面，目的是能动地去改进人的能力。现在我们有的同志说应该搞优生学[21]，但优生学比起我们在这里讲的就显得局限多了，太狭窄了。

我在这里讲气功，也讲了可能有的第七感受器的好话，是不是与恩格斯在《自然辩证法》中的《神灵世界中的自然科学》发生矛盾了呢？没有矛盾。我对那里的华莱士先生和克鲁克斯先生也是不赞赏的；不但如此，我对今天的华莱士先生和克鲁克斯先生也是不赞赏的。我想我们都应该努力按科学的态度办事，也就是按辩证唯物主义办事，但要解放思想，切“不要把孩子和污水一起泼掉”。

毛泽东同志说过：“马克思列宁主义并没有结束真理，而是在实践中不断地开辟认识真理的道路。”从辩证唯物主义的观点来看，科学技术总是不断发展的，其内容和结构都在不断地丰富。因此现有的科学研究体制也不会一成不变：在我国现在已经有了以研究自然科学为主的中国科学院，还有以研究社会科学为主的中国社会科学院；但联系到我在这里讲的和在另一篇文字[22]讲的，将来还应该设中国思维科学院，中国生理科学院和中国系统科学院。那大概是 21 世纪的事了。

选自《哲学研究》，1980 年第 4 期。

1.4 系统科学、思维科学与人体科学

研究现代科学技术的发展，也自然会提出科学技术体系的结构问题。在自然科学、数学科学和社会科学这三大部门之外，现在似乎应该考虑三个新的、正在形成的大部门：系统科学、思维科学和人体科学。关于这三个部门，我在以前的几篇文章中曾讲了一些初步看法，也得到了同志们对这些看法的意见。这些意见促使我进一步考虑这三大部门科学的发展和结构问题。在这里我将谈谈一些想法，请大家讨论，批评指正。

1.4.1

先说系统科学这个大部门。

以前我看到大力发展一类新的工程技术——系统工程的必要性，因而提议进一步发展和深入研究这类工程技术的理论基础。目前系统工程，除了与各门系统工程专业有关的专门学问，如工程系统工程的应用力学、机械设计、电力工程等之外，各专业系统工程的共同理论基础是运筹学；而今后进一步发展也要用到与运筹学相关的控制论。但是运筹学在现代科学技术体系中是紧靠工程技术实践的一般理论，属于我们称为技术科学的那类科学。技术科学是直接为工程技术服务的；也可以说实践经验的理论总结，首先达到的台阶是技术科学。控制论这一门20世纪前半叶从自动控制技术成长起来的新科学也是技术科学。但在技术科学这个台阶之上，应该还有一个台阶，即基础科学。在自然科学这个大部门中，物理学是基础科学，化学是基础科学。系统工程这类工程技术迈到运筹学以及控制论这一级台阶不会停止不动，上面还有它们的基础科学，但什么是它们的基础科学呢？这是从现代科学技术体系这一观点或科学的观点不能不提出的课题。换句话说，也就是要建立系统科学的结构体系。

关于系统科学的基础科学这一问题，我以前没有答案，而只是模糊地提问道：运筹学的进一步精炼会不会出一门理论，事理学？控制论（包括工程控制论、生物控制论、经济控制论和社会控制论）的进一步精炼会不会出一门理论控制论？这种提法，只引起我们思索，而没有指明途径，不解决问题。

要有进展，我们必须从系统工程的范围中走出来，在更大的视野中去考察。

我们看到生物学界的发展，正如罗申（Rosen）在不久前的一篇论文[23]中所讲的，18世纪以来的近代科学发展，在自然科学的研究中占主导地位的是还原论和经验论的方法，或形而上学的方法，这在当时是一个伟大的进步，是对古人的反击和革命：古代人们直观地以有机物或神灵主宰一切。然而罗申似乎忘记了从神灵到拉普拉斯的机械论之间也曾有过古代的唯物主义和辩证法；近代科学方法是从古代唯物主义发展而来的。罗申指出，近代科学的这种只重分析与实验的方法，在生物学的研究中，把生物解剖得越来越细。近四五十年更是攻打到了分子的层次。我们可以说把生命现象分解为分子与分子的相互作用，现在已取得了伟大的、惊人的成就，建立了分子生物学这门有非常充实内容的科学。但在这一发展面前，也有许多生物学家感到失望，我们知道得越细、越多，反而失去全貌，感到对生命的理解仍然很渺茫，好像知道得越少了。50年前贝塔朗费比较明确地认识到这一点，他开始所谓理论生物学（theoretische biologie，1932）的研究，要从生物的整体，把生物整体及其环境作为一个大系统来研究。贝塔朗费还由此创立了他称为一般系统论（general system theory）的科学[24]。还把它应

用到广泛问题的研究，例如研究人的生理、人的心理以及社会现象等。

一般系统论这一学科来源于生物学研究，是一个重要发展。王兴成同志在介绍它时[25]，把其基本原则归纳为一是整体性原则，二是相互联系的原则，三是有序性原则，四是动态原则。既然一般系统论是研究系统，一、二两条基本原则是容易理解的。三、四两条基本原则有些新鲜：它们来源于观察生物和生命现象。生物有一个有条不紊的构造，而且能有目的地生长和演化。这看来是生命所特有的。生物一死，构造立即开始破坏，生长和演化也立即停止，转入分解。所以一般系统论的核心是这后两条基本原则。贝塔朗费等人，首先认识到这个生命所特有的现象与物理学中热力学第二定律说的不同：热力学第二定律说一个封闭系统（同周围环境没有能量和物质交换的有限大的系统）的熵只能增加，看来越变越无序，而不是走向有序。抓住这一点，一般系统论强调系统的开放性，即系统要同周围环境有能量和物质的交换。

一般系统论的一个重要成果是把生物和生命现象的有序性和目的性同系统的结构稳定性联系起来：有序，因为只有这样才使系统结构稳定；有目的，因为系统要走向最稳定的系统结构。这个概念当然与现代科学中的控制论有关。

但是由于生物和生命现象的高度复杂性，理论生物学家搞一般系统论遇到的困难很大。几十年来一般系统论基本上处于概念的阐发，理论的具体和定量结果还很少。当然，他们抱的希望还是很高的，罗申就说："从演化的角度来看，生物学可认为是一部告诉人们如何有效地解决复杂问题的百科全书，以及解决这些问题中要避免的事项。生物学给我们提供了如何在大而成员各有不同的集体中进行合作而不是竞争的实例，从而证明这种集体合作是可能的、存在的。"（当然他在这里把合作和竞争割裂了，在生物界里，合作与竞争也是辩证地统一的。）

复杂系统中的结构稳定性代表着有序性，但这稳定性到底是怎么产生的呢？首先给出这方面线索的是普里戈金（Prigogine）和由他率领的所谓比利时布鲁塞尔学派。他们在几十年的工作中，首先从平衡态热力学出发，研究了稍为偏离平衡态的热力学，从而得到处理一般不均匀物质中各种传递过程的理论。其中利用了昂萨格（Onsager）关于传递系数的对易定理。这就是由这个学派创立的非平衡态热力学。普里戈金由此再向远离平衡态的方向推进。他发现只要化学反应的速度不是大到使分子运动的速度分布比起麦克斯韦平衡态分布有过分的畸变，那么线性传递关系，也就是输运流强与物态的空间梯度呈线性关系，仍然是正确的，尽管现在传递系数必须作为局部物态的函数。这就使得他们的非平衡态热力学，可以推广到远离平衡态的情况。他们由此发现了远离平衡态的稳定结构，也就是所谓"耗散结构"（dissipotive structure）[26]。并认为耗散结构就是一般系统论中要找的具有有序性的系统稳定结构。他们的系统合乎理论生物学的规定：从热力学的角度来看，系统必须是开放的。系统本身尽管在产生熵，但系统又同时

向环境输出熵，输出大于生产，系统保留的熵在减少，所以走向有序。布鲁塞尔学派的这些成就把理论生物学推进了一大步，使一般系统论的有序结构稳定性有了严密的理论根据。系统自己走向有序结构就可称为系统自组织，这个理论也可称为系统的自组织理论。

1.4.2

但是只从热力学考虑问题，只从宏观研究问题，虽然可信，总给人以隔靴搔痒之感，不透彻。我们要深入到微观，从系统的每一个细微环节来考察全系统的运动。在这方面，从比较简单的系统做起的控制论，近年来有一个新发展，即巨系统理论。巨系统理论着重分析系统的层次结构；一级管一级，同级结构之间有一定的独立性。这诚然是个微观理论。但直接把巨系统理论用于生物，从细胞作为基层单元开始，或用于社会经济，从每个企业、每个生产队作为基层单元开始，那就要把亿万个细胞，千百万个企业、生产队，一齐进入计算分析，毕竟太繁琐，无法取得具体结果。所以直接从微观来考察系统又不实际，不现实。这一进退两难的处境，正如当年人们认识到气体由相互作用的亿亿万万个分子组成，一对分子的相互作用的规律是清楚的，就是分子太多，作为这亿亿万万分子整体的系统、气体的性质，却无法取得具体结果。我们需要一个微观过渡到宏观的理论。实现这一过渡的奥秘在于：我们其实并不需要知道每一个分子的运动才能知道作为整体的气体的性质；宏观知识不要求知道那么多细节。这一认识使 19 世纪后半叶的物理学家发展了一门新学科——统计力学，不求知道每个分子的运动，但求得到整体分子的平均行为。统计力学使得热力学这一宏观规律的学问能通过分子的微观运动来解释，微观到宏观的道路打通了。这是近代物理学的一项辉煌成就。它给我们一个启示：在研究复杂的巨系统中，我们也要引用统计方法，才能透彻地看到局部到整体的过渡，才能避开不必要的细节，把握住主要的现象。哈肯（Haken）[27]就是用这样的观点来研究系统行为的。他的工作是从 60 年代研究激光发射机理开始的。由于当时现代科学技术的多方面成果已经摆在他面前，他吸收了概率论、信息论和控制论的有关部分，并且从一些平衡态，如超导现象和铁磁现象的理论发现，有序结构的出现并不是非远离平衡不可。超导体和铁磁体的结构是一种有序结构，就连液体和固体结构也在一定程度上是有序的；而它们都可以在热力学平衡下，从无序的状态产生。哈肯还发现激光发射这种远离平衡态的系统与上述平衡态的系统，在形成系统的有序结构的机理方面是相似的，都是本系统固有的性质。这就是说关键不在于热力学平衡还是热力学不平衡，也不在于离平衡有多远，而在于下面的情况：系统的详细运动或微观描述可以用一大组联立一阶时间导数的常微分方程来表达，有多少个描述系统状态的变数，方程组的方程就有多少。对复杂的系统来说，描述系统的变数在某瞬间可

以成千上万，上亿万；但不管多少，用一个坐标标出一个系统变换的值，那系统的瞬间状态总可以用这样一个许许多多互相垂直的坐标轴所形成的多维空间中的一个点来表达。这个多维空间，在统计力学中称相空间。系统随时间的变化就是这个代表系统状态的点，在相空间随时间的移动。所以如果系统自己要走向一种有序结构，那就是说代表那种系统有序结构的点是系统的目标，不管从空间的哪一点开始，终归要走到这个代表有序结构的点。更复杂的情况也可以出现，有序结构不是固定不随时间变的，而是一种往返重复的振荡，那就在相空间有一个封闭的环，这个环就是系统的目标。如果还要把在有序结构点或往返重复振荡附近的随机涨落也包括进去，那就说在相空间的这种点或环是不那么清晰的，有些模糊。哈肯的贡献在于具体地解释上述相空间的“目的点”或“目的环”是怎么出现的。他的理论阐明，所谓目的，就是在给定的环境中，系统只有在目的点或目的环上才是稳定的，离开了就不稳定，系统自己要拖到点或环上才能罢休。这也就是系统的自组织。研究相空间系统的稳定性，哈肯得力于托姆（Thom）的突变论。所以哈肯是综合了现代理论科学的许多成就才创立了他的系统理论的，他称他和他一起工作者的理论为“协合学”或“协同学”（synergetics），并把它应用到物理现象、化学和生物化学现象和生物现象，甚至用到社会现象。

从上节和本节的阐述，可以看到系统理论的研究是多么广阔的一条战线。一方面是各种系统工程的实践带来了运筹学，以及控制论，特别是巨系统理论的发展。另一方面是理论生物学的研究，带出了一般系统论；同时推动了非平衡态热力学的研究，产生了开放系统远离热力学平衡的耗散结构概念，作为有序性、自组织的理论。而近年来哈肯综合了现代科学的多方面成就，建立了比较深刻的系统理论。打破了热力学封闭或开放的隔阂，甩开了经典热力学概念的牵制。当然布鲁塞尔学派、哈肯学派以及一般系统论都还在进一步发展，而且我们也远不能把有关系统理论的研究都归纳为这几方面，还有我没有讲到的研究工作。把所有这些成果同运筹学、控制论结合起来，建立一门系统的基础理论科学——系统学，看来是不会太远了，而系统科学这一科学技术部门的体系可以建立起来了。这比我以前讲的具体得多，毕竟有了一个系统学的形象轮廓了。这是扩大视野带来的好处。我们可以预期系统学的结果也将帮助理论生物学和其他科学理论的发展。本文后面将会提到。

系统学的建立也将向马克思主义哲学提供深化和发展的素材。普里戈金的开放系统强调了世界的一个局部可以走向有序的结论是很有启发性的，它使我们从经典热力学的窒息气氛中解放出来，再也不必去召唤麦克斯韦的妖灵来减小某处的熵了[28]。当然由此而深化和发展了的哲学又反过来指导科学技术的研究。而且将不只是对系统学本身，也对整个系统科学有意义，并且对其他科学、其他技术也都有深刻的意义。从马克思主义哲学到系统学的桥梁，可以称为“系统观”

或“系统论”，它将成为辩证唯物主义的一个组成部分。

1.4.3

现在我来讲本文的第二个题目，思维科学。以前我没有明确思维科学的研究范围。为了与本文的再下一个题目人体科学划清研究领域，我想思维科学似乎应该是专门研究人的有意识的思维，即人自己能加以控制的思维。下意识不包括在思维科学的研究范围，而归入人体科学的研究范围，是心理学的事。当然这个划分不是一成不变的；非意识的或现在还不能控制的大脑活动，将来也有可能终于为人所认识，变成可以控制的了，那就会归入思维科学的范围。

我以前也说过，在思维科学和马克思主义哲学之间的桥梁是认识论。我现在仍然以为可以这样讲。当然思维科学的发展会大大丰富认识论的内容，从而也为马克思主义哲学提供发展的材料。明确了思维科学和哲学的关系，也就可以帮助解决近来在讨论辩证逻辑中的分歧[29]，显然，唯物辩证法属于哲学，而辩证逻辑属于思维科学。

现在让我们考虑，有意识的思维到底有几大类？一般好像认为思维有两大类[30]，一类叫逻辑思维，或抽象思维，一类叫形象思维。直到现在我们仅对逻辑思维有了比较系统的研究，从而总结出了它的规律——逻辑学。而形象思维则研究得很不够，还没有成为一门科学。这是不是由于人们总想形象思维和文学、艺术的创造有密切关系，因而也就以为是文艺领域的事，无关科学了呢？如果是这样，那也是个误解，因为文艺创作活动也是人的一项社会实践，实践才造成文学家、艺术家在创作中进行形象思维的能力，如果形象思维真的没规律，可以乱来，那也就不会有文学家、艺术家了；而且形象思维不但文艺工作者使用，其他人包括自然科学家、工程师也经常使用。所以一定有规律，一定可以建立一门形象思维的科学，叫“形象思维学”。

但我认为就是现在也不能以为思维就只有逻辑思维和形象思维这两类。还有一类可称为灵感，也就是人在科学或文艺创作中的高潮，突然出现的、瞬息即逝的短暂思维过程。它不是逻辑思维，也不是形象思维，这后两种思维持续时间都很长，以至人说废寝忘食。而灵感却为时极短，几秒钟，一秒钟而已。那灵感是不是可控的呢？一点是肯定的，人不求灵感，灵感也不会来，得灵感的人总是要经过一长段其他两种思维的苦苦思索来作其准备的。所以灵感还是人自己可以控制的大脑活动，是一种思维。有没有规律？刚生下来的娃娃不会有灵感，所以灵感是人社会实践的结果，不是神授。既是社会实践的结果就是经验的总结，应该有规律。总而言之，灵感是又一种人可以控制的大脑活动，又一种思维，也是有规律的。我们也要研究它，要创立一门“灵感学”。

将来我们还会发现其他类型的思维。

逻辑学、形象思维学、灵感学都是属于思维科学这一科学技术大部门中的基础科学。至于诸如语言学、文字学、密码学、人工智能、计算机软件技术、图像识别技术等等，似乎都可以当作思维科学体系中的应用技术，属工程技术类。至于什么是思维科学中介乎基础科学和应用技术之间的技术科学？现在更看不清楚。我们也甚至可以考虑把美学归入思维科学的体系。总之，思维科学的体系还有待于进一步的研究与发展，现在还说不清；只不过正像本文开头时讲过的，思维科学和数学科学是两大不同的科学技术部门，有各自的体系。

逻辑学、形象思维学和灵感学作为基础科学，作为"思维学"，也只有逻辑学部分比较成熟，其他两部分还有待于创立；但一旦有了这些学问，对科学技术的进展，影响将是巨大的。我们这样说，因为有逻辑学这个例子：逻辑学是现代电子数值计算机的理论基础。电子计算机的巨大成就，先是数值计算，现已发展到数学公式的推演，并进而实现定理的计算机证明，其作用已涉及生产、科研、管理、行政等现代社会的各个方面。电子计算机可以称得起是一项技术革命，与18世纪的蒸汽机、19世纪的电力和现代的核能并列。而这一发展得力于逻辑学的应用，发展出了软件技术这一门在电子计算机技术中非常重要的学问，没有它就形不成计算机科学技术。与此相比，形象思维就未创立，我们还不清楚形象思维的规律：就是图形的识别也还是个大问题，不知道人脑是怎么识别图形的！所以也就不知道怎样造一台识图机器，或怎样叫计算机去识图。现在有人在试作，但机器识图的结果令人很不满意，机器笨极了，而且不可靠。例如现在邮局用来读信封邮政编码的机器据说也只有大约60％的成功率，其余相当大的一部分机器读不出，还得剔出来请人来认。所谓"一家方便万家难"的一家方便也是有限的。这比起机器数值计算，每秒运算几十万次、几百万次、几千万次、几亿次，真可谓天壤之别！原因在哪里？在于我们掌握了逻辑学，但没有掌握形象思维学。那我们一旦掌握了形象思维学，会不会用它来掀起又一项新的技术革命呢？这是颇为值得玩味的一个设想。

那么如果我们掌握了灵感学呢？那人的创造能力将普遍地极大地提高，岂不人人都成了"天才"，这是更发人深省的了。

认识到深入研究思维学和发展思维科学的重大和深远意义，我们要问：到底如何去研究思维学这门这么重要的科学呢？一条途径是比较古老的，可以称为心理学的方法：人自己内省，即自己考察自己的思维过程，即以人用自己做试验。老方法也有新内容，我们可以引用一些较新的科学，如认识科学和科学方法论的成果；而且现在试验技术也有很大的提高，可以用各种精密的科学测量仪器了，例如脑电图技术有发展，测到的电位信号可以经过电子计算机处理，滤去噪声，取得各种纯信号。有一种叫做"事件电位"（event-related potential，ERP），标志不同大脑思维活动单元。试验中还可以使用各种对大脑部位产生特定作用的药

物，来改变其活动作用，然后观察对思维的效果。这条途径也可称为宏观的研究方法。

又一条途径是微观的方法。人脑是由许许多多神经细胞所组成。细胞种类也很多，有人估计有 5000 万种；细胞总数约 1000 亿，或 10^{11}个（以前估计有 10^{10}个）。每个细胞又伸出许许多多枝杈，有一个主枝，叫轴突，还有不少分枝，叫树突。轴突和树突都同相邻细胞或神经细胞形成一对一对的接触，叫突触；一个突触就好比一个开关，开关作用是通过特定的有机化学分子来实现的。大脑一共有多少对开关呢？一共有 10^{15}个（以前估计为 10^{14}个）。所以人的大脑好比一台有 10^{15}个开关的电子计算机！这比目前世界上最大的计算机还不知大多少倍。而且还有一个重要区别：电子计算机，至少是目前的电子计算机，内部结构是固定的，不变的，作成了就那样了；但人脑从小孩到成年、到老，一辈子在人的实践中改造、完善，人的智力可以不断提高。这也就是说人脑的功能和人的社会活动有密切关系，人脑是一个受社会作用的、活的、变化的系统。我们必须注意这一特征。

以上都只是现代脑神经解剖学告诉我们的人脑的概貌。不只是上述概貌，脑神经解剖学和脑神经生理学还告诉我们人脑的大致构造，特别是神经细胞轴突和树突的具体动作，动作的细节也一天天搞得越来越清楚了。这是近十年来的巨大成就。我们说的研究思维学的微观方法，就是人脑这种微观结构和一个个单元的动作性能同人的思维联系起来，看到人脑有 10^{15}个单元，或说人脑是由 10^{15}单元组成的超级巨系统。研究思维的微观方法行得通吗？如果不是有本文前几节讲述的系统学研究作准备，我想对这个问题是难以答复的。有了这个准备，我们总可以说：尽管人脑是极为复杂而庞大的系统，系统学的进一步发展终会使微观研究思维学的方法取得成功，完成从微观到宏观的过渡，在研究中我们也可以借助于电子计算机模拟的人工智能工作，从而我们终将不但知道我们自己思维的“当然”，而且知道其“所以然”。

1.4.4

现在再谈本文的第三个题目，人体科学。

首先我说说人体科学的研究范围。它是研究人体的功能，如何保护人体的功能，并进一步发展人体潜在的功能，发挥人的潜力。有意识的大脑活动，即思维虽然是人体的一项非常重要功能，但已归入思维科学的研究范围，就不包含在人体科学的研究范围内了。

再就是名词问题。以前我曾用过“生理科学”这个词，这不确切，太狭窄了。现在有的同志用“人体生命科学”这个词，加入了生命两字，我感到这有限制一下的意思。考虑到人体科学是一个科学技术大部门，一个体系，包括如同系

统科学和思维科学那样从基础科学到技术科学、到应用工程技术三大类，特别是到应用技术，会包括非生命的内容，限制了反而不妥，还是不加“生命”为好，也省两个字，名词短些。

说短，也有另一个名词，“人学”。这个词有两种不同的涵义。高林同志的人学是要全面地、综合地研究人[31]，其研究范围远远超出人体科学。“人学”的另一种解释是说，由于当前我国社会中出现的不良风气，有那么一门拉关系、走后门、阿谀奉承、溜须拍马的“学问”。这都和这里谈的人体科学不同。

现在来谈谈人体科学的体系，从应用技术、工程技术说起，可以先讲体育技术，这也包括武术、杂技，以及中国戏剧中的武打功、身段功。这方面的活动自然是在现代社会中占非常重要的位置，而且有国际影响。我在这儿提出是说要把体育技术作为一门科学技术来看待，要能讲出道理，不是只靠巧劲儿或拼体力。有时运动器械或道具也很重要，例如撑竿跳高，竿的重量、弹性非常重要，竹竿不如玻璃钢竿，玻璃钢的又不如碳纤维的。这都是学问。

人机工程是又一门非常重要的应用人体科学技术。这是专门研究人和机器的配合，考虑到人的功能能力，如何设计机器，求得人在使用机器时，整个人和机器的效果达到最佳状态。在生产过程中，人机工程搞好了，生产效率可以大大提高。在武器设计中，人机工程搞好了，战斗力可以大大加强。在特殊环境中，如载人航天飞行器里，人处于失重状态，而再人大气层返回地面时，又要经受超重加速度等等，如何培训航天员和设计飞行器的各种工作系统，自然是个严重的问题，这也是人机工程。对有些自动化系统，人们发现，如能让人对系统作适时、适当的干预，比全不要人参加要好。这也就是让人发挥综合形势、权衡多方面利弊、作出判断的长处，也让机器发挥大功率、高速度、精确运动的长处。就在电子计算机的运算过程中，也会有人干预计算而缩短计算过程的情况。人机工程是人体科学和机械科学、电子科学的结合，是今天发展很快的一门技术。

从人体科学的角度来看，大家熟知的医疗学科可以认为是这一科学体系中的应用技术。这包括各临床学科如内科学、外科学、妇产科学、儿科学、眼科学、耳鼻喉科学、皮肤科学、神经病学、精神病学、口腔医学，以及内分泌学、肿瘤学、围产期医学、老年病学、传染病学、骨科学等等。此外作为人体科学体系中的应用技术还有各种预防医学学科，如职业病学、少年儿童卫生学、营养卫生学、劳动卫生学等。在应用技术方面，还有非常重要而决不容忽视的气功疗法。

在人体科学的体系中，为上述应用技术提供直接理论依据的是技术科学性的学问。例如联系体育技术的是运动生物力学和运动心理学。前者运用力学原理研究身体各类动作的合理性；后者研究运动员的心理在体育运动中的状态和作用。联系各种人一机工程的有工效学，也称人体工程学（ergonomics）[32]。至于联系医疗卫生的技术科学性学问，那就是病理学、药理学、毒理学、免疫学、寄生虫

学等，而这又要引用微生物学、生物化学、有机化学等自然科学的成果。

作为这一大类应用技术和技术科学的人体科学的基础科学是什么呢？那是阐明人体构造的解剖学、人体功能的生理学，以及组织学、胚胎学，还有遗传学。再就是研究人脑非意识活动的心理学。当然人体的功能也受人脑有意识活动的影响，所以前节中讲的思维学也是人体科学的基础科学。这就是说现代科学技术几个大部门之间有交叉。其实以上讲的人体科学这一大部门中的应用技术和技术科学也综合了其他部门的学科知识。

从以上叙述我们看到：人体科学的各学科都是已建立了的，有的还有百年以上的历史。在这里我提出人体科学体系的概念，只是把它们按基础科学、技术科学和应用技术组织排列起来，让它们在新体系中就位而已。但是，是否仅仅如此呢？既然建立了人体科学这一科学技术大部门，那按我们以前提出的现代科学技术结构体系，就必然要问：这个部门与马克思主义哲学的联系是什么？其过渡的桥梁是什么？我们这里讨论的是一大科学技术部门与哲学的联系，不是一门科学、一门技术单独地与马克思主义哲学的关系，例如医学与哲学的关系[33]。这符合哲学高度概括的本质，因此就比较容易从广阔的视野考察问题，而取得结果。当然，这个通到哲学的桥梁还有待于我们去构筑。

1.4.5

其实我们组织起人体科学体系的目的是为了迎接这一部门已经开始的发展和即将来临的更大进展，要承认它在现代科学技术中应有的重要性。

是什么重大发展？我们可以先从国外情况讲起：正如我在本文第一节讲的，现代生物学中有不少人看到百年来近代科学的还原论和经验论研究方法的缺点，只注意“树木”，不注意“森林”，因而对“森林”总不能全面认识！所以理论生物学家提出要研究生物的整体。而且生理学和医学的研究也不断发现人体的新现象，迫使我们改变过去对人体组织的概念。例如：以前我们以为人体的各个器官是分层次组织的，中央发号施令的是大脑，然后是各生理系统，每一系统有它自己的功能传递化合物，各就各位，各司其职。在“基层”工作的化学物质有亲皮质素、血管紧缩素 II、激胆囊素八肽、胃泌激素、生长激素、胰岛素、β-肥胖素、催产素、激乳素、血管加压素等等，我们从它们的名称就知道它们本来是被认为在人体内脏各系统工作的。但现在发现以上说的这些化合物，还有其他同类化合物，一共 20 多种，竟然出现于人的大脑[34]，可以说在基层工作的跑到中央领导机关来了。这不是打乱我们那种层次分明的人体组织了吗？它说明人体的整体功能比我们以前设想的要灵活得多，一定还有许多奥秘未被我们识破。

我国脑神经学专家张香桐教授研究了针刺镇痛的机理。针刺在某一穴位，能

不能产生某局部的镇痛效果？从经典生理学的观点，人体器官各司其职，针刺能镇痛是不能接受的。我国至今还有生理学家不相信针刺能镇痛。但张香桐教授发现：针刺能激发人的下丘脑分泌内啡肽，内啡肽作用于神经，起到局部镇痛作用。针刺镇痛作用不是直接的，是通过大脑的。这又给我们启示，人体的整体功能是跨越组织部门的。

这些现代科学成果促使我们去考虑祖国传统医学、中医理论的正确性。中医理论中的阴阳说和五行说，脏腑论和经络说，六淫、七情，中医讲究辨证论治，这些都强调了人体的整体观以及人和环境、人和工作的整体观。应该说，这是符合马克思主义哲学、辩证唯物主义的。中医理论的缺点是它和现代科学技术挂不上钩，语言、概念是两套。所以中医自有中医的一套，西医自有西医的一套，只能独自发展，各搞各的。目前说中西医结合实际是在临床治病，请中医治，也请西医治，各发挥其所长，双管齐下，加快病人的康复过程。这种中西医结合也是一条医疗事业的途径，也要提倡。我国目前的现状是三条途径，西医一条，中医一条，中西医结合也是一条。

中医真用不上现代科学技术的语言和概念吗？1973 年戈德伯格（Goldberg）和 1977 年邝安堃教授作了回答：他们先后用科学实验分析证明：中医所谓阴虚、阳虚的症状至少有一部分与血液中的环腺苷酸（cAMP）和环鸟苷酸（cGMP）含量有直接联系。这不就把中医的语言翻译成现代科学的语言了吗？而且阴虚、阳虚只能定性，不能定量，而分析血液的环腺苷酸和环鸟苷酸是可以精确地定量的。这是古老的中医现代化！这些都证明中医是可以现代化的。中医发展的前途是中医现代化[35]。

与中药密切相关的是祖国传统医疗卫生的又一珍宝——气功。在前节我们已经说到它了，气功对保护人民健康和治疗疾病有公认的效果。但气功本身又有十分重要的科学意义：正如吕炳奎同志所指出的[36]，气功与中医理论相通。练气功的人对气血、经络、脏腑等中医学说通过运气练功的实践，得到感受而容易理解，因此气功又是研究中医理论的钥匙。有的同志认为：中国古代的医药名家，很可能就是有成就的气功师；这些同志并认为气功是中医中药理论的泉源。我们要研究中医理论，实现中医现代化，就必须同时科学地研究气功。

但气功的科学意义还有另外的方面：练气功工夫深的人，高级气功师，还具有“透视”人体，“透视”地下构筑，“发气”拒敌，十步之外摔倒人等功能。这就把气功同现在人们注意的人体特异功能关联起来。高级气功师的特异功能是后天练出来的，而十岁左右少年的特异功能是经过诱发的先天禀赋；高级气功师的特异功能更强，效果更惊人，虽然两者可能都反映这是人类某种潜在的固有功能的显现。研究少年儿童的特异功能是件重要的工作，近来已取得进展[37]，这是可喜的。但我们应该以更大的努力结合高级气功师的实践去研究气功，建立“气

功科学技术”这门学问。现在国外已经对此重视，而且开展了工作。我们应该有紧迫感，不要失去时间。但这是要投入一定力量的，要把各方面的科学技术人员组织起来，并要有一定的条件。目前这方面的工作还得不到国家的支持，还是业余式的，因而也往往限于仪器设备等条件而不够严谨，达不到开发新科学领域所要求的清晰、确凿程度。王伽林同志[38]为了在这种条件中取得无可置疑的科学结果，竟在自己身上开刀，剖腹测量胆汁流量与练功的关系，这种精神，令人肃然起敬。

以上所讲的情况也引起我们去思考：为什么在中国长达 2000 年的实践中的气功、中医、特异功能，却断断续续，得而复失，道路却那样曲折？是什么缘故？是人们的偏见吗？是的，偏见令我们失去真理，我们要警惕啊！

由此我也想：我们还有什么在历史上已经发现了的东西，后来又扔了呢？陈涛秋同志在给我的信中认为人是可以在千里之外感受周密知己的思想的，并认为历史上有许多记载作证，我想这种现象当然可以用现代科学仪器作测验，但除此之外，似乎也可以作一番历史文献的调查研究。历史文献是人类过去社会实践的记录，也可当作是实验室的笔记。我国地震工作者，就曾从史书、县志、杂记等历史书籍中获取非常宝贵的地震数据。竺可桢教授也曾从史书和古籍中查到关于古代气候的材料，总结出古代历年我国气温升降的曲线。那么我们现在可不可以把古籍中关于中医理论以及其他事例，经过鉴别，去粗取精，去伪存真，整理出来，作为一门古代实验的学问，可叫“古实验学”。这不是会对我们研究人体功能很有用吗？

讲了以上的话，对人体科学会要大发展这一论点，我看是比较清楚的了。人还有多么大的潜力啊！我们将使上一节所陈述的现有人体科学彻底改观！在这一大发展、大创造中，一定要把人本身作为一个系统，把人和环境作为一个系统，所以系统科学和思维科学的研究成果也一定会促进人体科学的研究。

在结束本文前，我们不禁要对现代科学技术进展的速度感到惊奇。从引证的文献来看，正是由于国内外广大科技人员的协同劳动，我们才有可能在这里一下子提出三个崭新的科学技术大部门：系统科学、思维科学和人体科学，从基础科学到技术科学、到应用技术。而它们在 1978 年的全国科学大会上，还没有占重要位置，八个当时认为是影响全局的综合性科学技术领域、重大新兴技术领域和带头学科，是农业科学技术、能源科学技术、材料科学技术、电子计算机科学技术、激光科学技术、空间科学技术、高能物理和遗传工程，而本文讲的新学科仅出现于单项研究中。这三个新的科学技术部门都有强大的生命力：推动系统科学研究的是现代化组织和管理的需要，推动思维科学研究的是计算机技术革命的需要，而推动人体科学研究的是开发人的潜力的需要。两年的变化是鼓舞人心的，现代科学技术的前途无量！让我们在结束时再次引用郭沫若同志在全国科学大会

上讲话中用过的白居易的词句："日出江花红胜火，春来江水绿如蓝！"

选自《自然杂志》，1981 年第 1 期。

参考文献与注释

[1] 恩格斯. 路德维希·费尔巴哈和德国古典哲学的终结. 马克思恩格斯选集（4）. 北京：人民出版社，1972：223.

[2] 钱学森. 自然辩证法、思维科学和人的潜力. 哲学研究，1980，(4)；系统科学、思维科学与人体科学. 自然杂志，1981，(1).

[3] 钱学森. 关于形象思维问题的一封信. 中国社会科学，1980，(6).

[4] 钱学森. 自然辩证法研究中一些有争论的问题. 光明日报，1979-12-20.

[5] 钱学森，宋健. 工程控制论（修订版）. 北京：科学出版社，1980：前言.

[6] 钱学森，许国志，王寿云. 组织管理的技术——系统工程. 文汇报，1978-09-27.

[7] 马克思恩格斯选集（4）. 北京：人民出版社，1972：407~409.

[8] 钱学森. 现代科学技术. 人民日报，1977-12-09.

[9] 著名中医关幼波治疗肝病经验"传授"给电子计算机. 北京日报，1979-03-27.

[10] Scientific American，1979，(3)：80；科学，1980，(1)：134.

[11] Marcel Dekker N Y. Encyclopedia of computer science and technology. Artificial Intelligence，1979，(1).

[12] Cognitive science，1978，(1).

[13] Scientific American，1979，1 (3)；科学，1980，(1).

[14] 王极盛. 试论我国心理学的发展道路. 哲学研究，1979，(12).

[15] 周建人. 思想科学初探. 光明日报，1979-06-13.

[16] New Scientist，1977，(1)：719.

[17] 王寿云，紫本良，陈宝廷，等. 从领导艺术到软科学. 自然辩证法通讯，1979，(4).

[18] Feld S，Mcnair R E，Wilk S R. The physics of karate. Scientific American，1979，240 (4)：150-158.

[19] 顾涵森，赵伟. 气功"外气"物质基础的研究. 自然杂志，1979，(5，6)；张惠民. 远红外信息治疗仪试制成功. 自然杂志，1979，(7)；顾涵森，等. 气功"外气"物质基础的研究——受意识控制的静电增量实验结果. 自然杂志，1979，(10)；陶祖莱，林中鹏. 气功研究的现状和未来. 力学与实践，1979，(3)；范良藻，薛明伦，谈洪. 气功与生物电异常. 力学与实践，1979，(3)；气功笔谈. 自然杂志，1979，(11).

[20] 谢毓瑜，王志秀. 观察谢朝晖用耳认字辨图辨色的小结. 自然杂志，1979，(12)；四川省大足县联合考察组. 关于唐雨耳朵辨色认字的考察报告. 自然杂志，1979，(12)；陈守良，贺慕严，王楚，等. 姜燕特殊感应机能的衰退与恢复. 自然杂志，1979，(12)；罗冬苏. 为什么耳，手能辨色认字——再谈人体第七感受器. 科学园地（天津市科协），1980-1-10 及光明日报，1980-2-13.

[21] 光明日报，1979-12-18.

[22] 钱学森. 大力发展系统工程，尽早建立系统科学的体系. 光明日报，1979-11-10.

[23] Rosen R. General Systems，1979，5：173.

[24] von Bertalanffy L. General System Theory.

[25] 王兴成. 系统方法初探. 哲学研究，1980，(6)：35.

[26] Glansdorff P，Prigogine I. Thermodynamic Theory of Structure，Stability，and Fluctuations. New

York：Wiley，1971；沈小峰，湛垦华. 耗散结构理论与自然辩证法. 自然辩证法通讯，1980，(2)：37.

[27] Haken H. Synergetics，an Introduction. New York：Springer，1977；哈肯 H. 自然杂志，1978，(1)：229.

[28] 张忠文. 朱颜变尽，丹心难灭——访钱伟长教授. 北京科技报，1980-07-11.

[29] 秋田. 全国辩证逻辑讨论会在厦门大学举行. 着重讨论辩证思想的规律和思维形式问题. 光明日报，1980-10-23.

[30] 沈大德，吴廷嘉. 形象思维与抽象思维——辩证逻辑的一对范畴. 中国社会科学，1980，(3)：109.

[31] 高林. 人学被探. 北京科技报，1980-07-25.

[32] 封根泉. 研究提高效率的新兴科学——功效学. 北京日报，1979-05-16.

[33] 旭玮. 全国部分高等医学院校医学辩证法研讨会在吉林市召开. 中国自然辩证法研究会通信，1980，(19)：1.

[34] Wingerson L. New Scientist，1980，16：186.

[35] 王建平，等. 试论中医现代化. 上海中医药杂志，1980，(4)：2.

[36] 吕炳奎，等. 气功笔谈. 自然杂志，1979，(11)：676.

[37] 本刊评论员. 一年. 自然杂志，1980，(9)：643.

[38] 王伽林. 气功与胆汁分泌——我的实验研究. 自然杂志，1980，(3)：164.

第二章　创建思维科学

2.1　关于思维科学

已经是几年前了，我写了两篇涉及思维科学的东西[1]，本来是探讨在现代科学技术的体系结构[2]中有无思维科学这样一个平行于自然科学技术、社会科学技术等大部门的科学技术部门。后来我又多次同中国科学院学部委员、计算技术研究所研究员胡世华同志和上海华东师范大学心理学系胡寄南教授讨论过这个问题，还有许多热心同志和我书信往来或面谈过思维科学的研究。他们的见解对我都有启发、有教益，使我对思维科学的认识有些发展，有些调整。为了向大家报告我学习的情况，我写了这篇文字，请大家批评指正。

2.1.1

我想首先要说清的问题是：能不能和有没有必要建立思维科学这个科学技术大部门。关于这个问题的第一部分，能不能的问题，实际是问人的思维有没有规律。如果没有规律那当然不能建立关于思维的科学。从广泛的意义上讲，从唯物主义的思想讲，思维当然有规律，因为思维也是一种客观现象，而一切客观的东西及其运动都有自己的规律，思维当然也不例外。但我们还宜再深入地研究一下这个问题，这又可以分两个方面来讲。

我们可以先从思维是人的中枢神经系统，特别是大脑受外界各种刺激而引起的这一点看。外界各种刺激又是客观世界变化和运动的产物；这些变化和运动是遵循客观世界规律的，即自然界的规律和社会的规律，所以外界各种刺激也是有它们自己的规律，而不是无缘无故、无章可循的。这样，人的中枢神经系统、大脑的活动也就当然要有规律，人的思维要有规律。也许有人会问：外界各种刺激有规律，就准能说人的思维有规律吗？人脑会不会“别出心裁”？或说因人而异，人与人完全不同？这就是又深入一步到答案的第二个方面了：虽然每一个人的脑子在结构和功能方面不见得一模一样，不然就成了机器人，不是活人、真人了。但是人脑毕竟是亿万年生物进化的结果，遗传是起作用的，从根本上说人脑的结构是完全相同的，人脑受相同的生活经验或相同的社会实践所引起的适应、发展和调整也是相同的，这就从人脑的微观结构方面保证了人的思维的规律性。

当然，不是绝对没有例外。社会上还有由各种不幸造成的病人——疯子，但

疯子的脑子也是物质构成的，他们的思维可能不同于常人，可是也一定有它自己的规律，那是精神病的范畴了。

以上讲了思维是有规律的，这实际早就是辩证唯物主义结论之一。研究这部分客观规律的学问，思维科学是可以成立的，不管什么种类的思维都不例外。什么"神灵感应"？没有的事！还是人脑的功能，叫"人灵感应"吧。

现在再来讲有没有必要建立思维科学这个科学技术大部门。这里的一个基本道理是现代科学技术已经学科林立，分工越来越细，但又同时相互关系密切，形成一个整体。是整体就不能不研究整体中的结构、学科之间的联系和相互关系。是整体，就是一个系统，而系统一定有清晰的层次和部门性的分系统。所以我们研究现代科学技术的体系结构就要注意找出其中横向的层次和纵向的部门分系统，不然就认不清其中梗概；而如果连体系的梗概都没弄清，又怎么能真正理解学科之间的相互关系呢？这也是我不太满意有些评述现代科学技术体系的论文的原因，它们把学科之间的关系搞得很乱，体现不了事物本来具有的结构。我所建议的纵向分法已经在以前阐述过，即分为自然科学、社会科学、数学科学、系统科学、人体科学和思维科学六大部门，理由已经说过，不再在此重复。

这里我想讲一讲横向层次的划分。我们作这种划分的原则是：由于人认识客观世界是为了改造客观世界，我们划分层次可以按照是直接改造客观世界，还是比较间接地联系到改造客观世界来划分。其实这种分层法早已在自然科学的近100多年的实践中逐渐形成。因此也是经验的总结，不是凭空的臆想。在自然科学中，最先形成是理论的层次，即基础科学。至于直接改造客观世界的工程技术，先是作为工艺，不作为科学的；是大约在19世纪末、20世纪初才成为科学，在高等院校中讲授了。至于介乎基础科学和工程技术之间的技术科学，它一方面是基础科学的应用，一方面又是不止一门工程技术的理论基础，形成得更晚一些，大约在19世纪二三十年代[3]。我认为这种层次划分是有道理的，是普遍适用的，六个大部门都分基础科学、技术科学和工程技术三个层次。三个层次之上，作为人认识客观世界的最高概括，当然应是马克思主义哲学。

总的来说，以上就是现代科学技术的体系结构，其中思维科学是作为一个部门和其他部门并列的，它也说明思维科学内部层次的划分，以及与马克思主义哲学的关系。思维科学作为一个部门这样建立起来了，就可以明确上下左右的联系，有利于思维科学内部各学科相互借鉴，促进其发展。这就是建立思维科学这样一个现代科学技术部门的必要性。

2.1.2

开宗明义，思维科学只研究思维的规律和方法，不研究思维的内容，内容是其他科学技术部门的事。现在我来谈谈思维科学这个现代科学技术分系统的具体

构筑问题。

我曾经讲过，思维科学的基础科学是研究人有意识思维的规律的科学，可以称之为思维学。胡思乱想，不在思维学之内。又因为这种有意识的思维，除抽象（逻辑）思维之外，还有形象（直感）思维和灵感（顿悟）思维，所以思维学又可以细分为抽象（逻辑）思维学、形象（直感）思维学和灵感（顿悟）思维学三个组成部分。我还说思维学作为思维科学的基础科学之上，上升到一切人类知识最高科学概括的马克思主义哲学要通过一架桥梁，即认识论。我又以为思维学中只有抽象思维研究得比较深，已经有比较成熟的逻辑学，而形象思维和灵感思维还没有认真研究，提不出什么科学的学问。这些意见说得过于简括，有些同志有意见，但似乎是出于误解，所以现在要加点说明。

首先是逻辑学的涵义的问题，它是把抽象（逻辑）思维的规律形成一门严密的理论学科，如同数理逻辑。数理逻辑是我说的抽象思维学的一部分和模型，一部分的意思是，因为数理逻辑集中研究数学科学里的逻辑问题，还不是全部抽象思维，而且数理逻辑比较集中于形式逻辑，尽管像哥德尔（Gödel）的不完备性定理好像在突破形式逻辑，进入到辩证逻辑。模型的涵义是讲其严密的理论性，够得上基础科学的要求。这样也就解释了我为什么说，形象思维和灵感思维的研究还未达到科学的要求，虽然不精确的描述和思辨性的议论是非常之多的，但不够严格。当然，我们也不能就这样说形象（直感）思维和灵感（顿悟）思维本身就比抽象（逻辑）思维低一等，我以为这两种思维的客观存在和重要性是不必怀疑的，而怀疑的人可能是由于缺乏亲身体会而已。

我用了逻辑学这个词，又引起一些哲学家们去联想哲学里的逻辑和逻辑学，例如黑格尔的《大逻辑》和《小逻辑》等书。也因此以为我混淆了马克思主义哲学和思维学，要把辩证唯物主义拖下最高理论概括的阶层，而且违背了列宁的教导："逻辑、辩证法和唯物主义的认识论是一个东西"，等等。我想为了避免不必要的麻烦，还是把思维科学的基础科学的一部分，抽象思维部分，称作为抽象思维学或主观逻辑，因为是人脑子里的思维逻辑。而辩证法还是辩证法，不要称作为逻辑；一定要称逻辑，也是客观逻辑，因为是客观事物的规律。拉开一点距离，以免搅在一起。但拉开并不等于无关，怎么会无关呢？马克思主义哲学、辩证唯物主义是指导一切科学研究，联系一切科学研究的嘛。

至于认识论这个词，我以为混乱少些，因为列宁的话是有针对性的，不宜断章取义；我们的哲学家也不会把马克思主义哲学和认识论等同起来。我不过联系到思维科学，把认识论作为桥梁，也还是马克思主义哲学的结构的一个组成部分[4]。这样做的理由是：思维科学的目的在于研究人认识客观世界的规律和方法。也因此我现在建议思维科学的一个别名是"认识科学"，英文是 cognitive science。当然国外所说认识科学的范围比这里讲的要窄，但仍不妨用这个英文

词，但扩大其涵义。

再一个有关思维科学分系统的结构问题是意识和大脑的问题，因为思维是意识的一部分。对这个问题，我以前为了强调思维的物质基础，在联系思维科学时讲到大脑的结构和功能，因而也好像研究人脑的功能也成了思维科学的一部分工作了。在这里我要纠正这个印象。我现在认为研究人脑的功能是人体科学（一个思维科学的紧邻）的事，不能把比思维更广泛的意识放到思维科学部门中来探讨。为什么呢？由于现代脑神经学的迅速发展，意识的真相已逐渐被揭示出来，按 1981 年诺贝尔奖金获得者美国脑神经学家斯佩雷（Sperry）[5]的看法，意识或精神是人的中枢神经系统，特别是人脑的最高层活动[6]，而人脑的基层活动是由于受外界刺激后的神经系统活动所引起的。这样生理学和神经学结合成为心理学的理论基础生理心理学（physiological psychology）。生理心理学和脑神经学的进一步升华，就会产生阐明人脑高层次活动的心理精神论（psychological mentalics），最后到研究意识和精神活动的精神学（mentalics）。这几门学问都属于人体科学，而且是人体科学的基础科学部分，因为意识对人体生理过程的反作用是人体科学的一个重要研究方面。但意识又包括思维，所以精神学又与思维科学的基础科学——思维学密切相关，是对思维学横向跨部门的支援。

基于以上的说明，思维科学与相邻现代科学技术大部门的关系就可以用图 2-1 来表示。

2.1.3

在解决了思维科学的外围问题之后，我们可以讨论思维科学三个层次的内部组成问题。

在基础科学这个层次里，除了我们已经说过的思维学之外，我认为还应该列入思维的普遍工作对象，即信息的研究。信息的研究是从通信技术入手的，早在 20 世纪 40 年代就由美国香农（Shannon）提出通信道中信息传递的理论，开始有了信息的准确计量。后来又由于控制论的影响，形成了信息论，把信息的概念大加扩展，成为信息源、信息道和信息受者的统一理论，但对信息的本质似乎还不十分清楚，像美国维纳（Wiener）这样一位控制论的创始人，也讲过些糊涂话。我以为信息的概念不能脱离由信息源、通道和受者的系统，作为自然科学研究对象，它不过是某种形态的物质运动，当然是物质的；但受者并不对运动的诸如速度、动量和能量感兴趣，而是提取运动所蕴含的另一种东西，叫信息。信息因此也和速度、动量和能量一样，是人为了认识事物的需要，从物质运动概括出来的，一点也没有什么可奇怪的。可是受者必须知道如何提取，信息才存在；不然就如对牛弹琴。总之，信息对认识过程有非常重要的意义。因此，研究信息和信息过程的学问———信息学[7]，也就理所当然地是思维科学的基础科学之一（见图 2-1）。

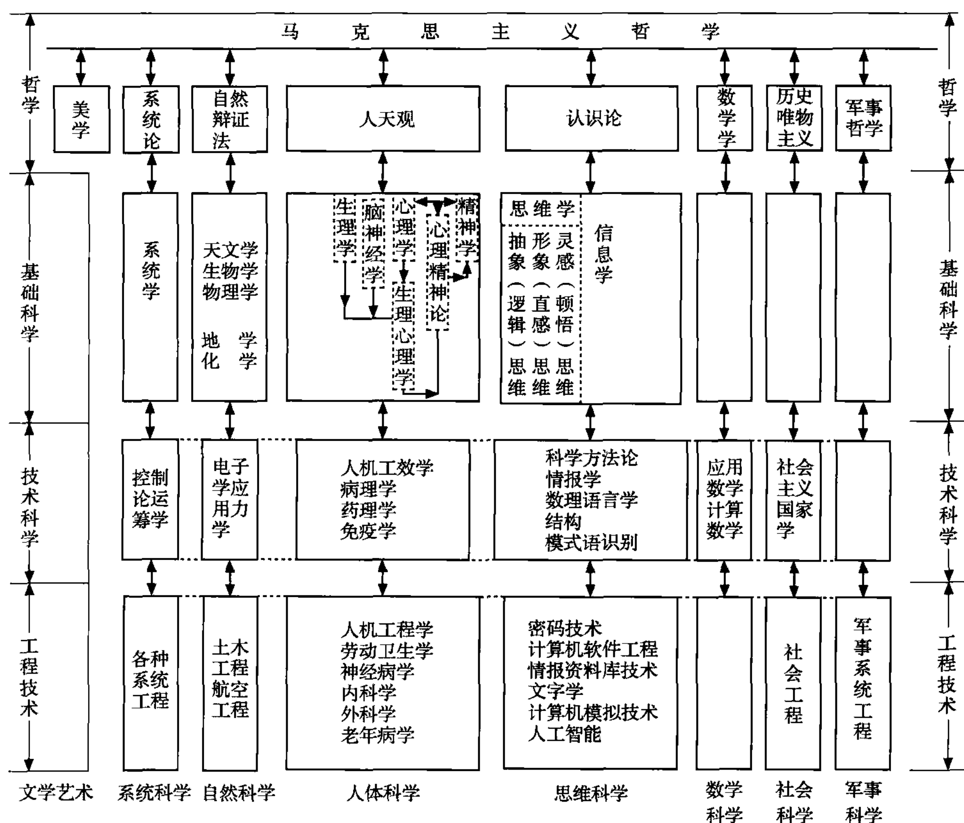


图 2-1

关于形象思维，文艺理论家谈得很多，也有不少引人入胜的见解。科学技术人员，一般不提什么形象思维或直感思维，只少数有成就的科学家在说到科学方法时讲过这个题目。文艺家和科学家的议论都近乎思辨性质，对我们有启发，但还有待于深化，是张光鉴同志，对形象思维作了些有意义的探索，他归纳了大量的人的创造过程，提出“相似”的观点。当然“相似”和“不相似”（“相异”）是辩证统一的，“相似”中有“不相似”，“不相似”中又有“相似”。“相似”的观点，或“相似论”，对说明形象思维在科学技术、工程技术中的重要性很有价值。然而要再进一步深入下去，建立科学的理论，建立形象（直感）思维学就困难了，因为这里讲的“相似”不是几何学里的相似，那里的相似比较单纯，用数理逻辑就够了，但在这里不然。在这里，形象思维里，要从一大堆不那么准确的材料中提炼出准确的“相似”。

说难，倒不是说人们不会这么干，而是没有找到总结成理论的途径。正如英

国斯巴克思（Sparkes）[8]不久前讲的，人天天在这样做：听说话，可以不受方言、口音、单字单词的同音、穿插的口气词、错误语法等干扰，准确地懂得说话人的意思。人也可以从写得很不工整的笔迹中读出作者的原意，人识别图形的本领是很高的。他认为这是一种不同于简单科学归纳的思维，而是复杂的、多途径、多回路思维；其实就是我们这里讲的形象（直感）思维。斯巴克思的议论给我们启发：建立形象思维学要通过研究语言和识别图形。从基础理论到应用技术的关系来讲，形象思维学属基础科学，而科学的语言学，即结构语言学和数理语言学，以及模式识别属技术科学。所以这里为建立一门基础科学，而向技术科学求援，也就是先研究更具体的东西，再研究它一般的理论。这也是现代科学技术中常有的事。

这也就引出又一个问题：既然科学的语言学和模式识别这两门思维科学的技术科学，共同为基础科学形象思维学提供素材，那科学的语言学和模式识别有一致的地方吗？有。以前模式识别工作一直是用相关统计法，也就是把图形不同部位的数据（色彩和浓淡）用数理统计计算相关函数，以相关函数的分布来识别图形。这个方法计算量非常大，显然不会是人脑用的办法，人脑识别图形几乎是瞬时的！近年来模式识别已经转入所谓语义法[9]，效果比统计法好。这不是说明，语言的识别和图像的识别有共性吗？当然，从这两门学问的成就来看，它们都还未达到成熟的阶段，从它们那里再上升到形象（直感）思维学就更有一大段距离要走；来日方长，性急也没有用。

思维学的第三个组成部分，灵感（顿悟）思维学就更离得远了，我们还没有把握从哪个方向去探索，虽然文艺理论家对此有很多议论。刘奎林同志在给作者的信中建议：灵感的孕育也有一个过程，只不过不在意识范围之内，而在意识范围之外，在潜意识，当酝酿成熟，却突然沟通，涌现于意识，成为灵感。这个说法是有道理的。我们在日常生活中也常常一时记不起某一个人名、某一地名、某一数字，左想右想也记不起来了。这时，如果思想放开，不去想它，倒会突然想起来了，记起来了。这是不是因为：人名、地名或数字并没有从脑中消失，仍然存贮在大脑某部，只不过暂时与意识失去联系，成为潜意识。而潜意识中存在的东西又会突然接通到意识，促使我们又记起来了。潜意识本是心理学家们使用的概念，可以用来解释诸如上面讲的这类现象。这个概念也还可以有进一步的发展，威尔逊（Wilson）[10]认为有许多事例还说明潜意识不限于信息的存贮和取出而已，还可以在意识之外，另行搞一套复杂的活动、信息处理加工。不声不响，不知不觉。好像一个人的大脑除意识部分之外，还有独立的潜意识部分，甚至不止一个独立的潜意识部分，每一个部分都可以独立进行不同于意识内的种种思维。这叫做“多个自我”学说。由于以上的这些发展，要搞清灵感思维的机理，还是有起步方向的。

在技术科学这一个阶层，思维科学中还有情报学和科学方法论。现在情报、资料、档案是一个巨大的事业，已成为人们认识客观世界的锐利工具，可以说是人感觉器官的外延，就如机器是人手的外延。情报事业也是社会主义精神文明建设的一个重点，而这一事业的理论基础是情报学[11]。此外，科学方法论是现代科学技术研究的一个大课题。我们要多宣传这样一个观点：科学技术工作决不能局限于抽象思维的归纳推理法，即所谓的“科学方法”，而必须兼用形象或直感思维，甚至要得助于灵感或顿悟思维。爱因斯坦就倡导过这个观点[12]。所以为了开阔科学技术工作者、特别是青年科技工作者的眼界，科学方法论是必须大加发展的。在这一层次的思维科学，一定还会有其他学科，这里就不一一说明了。

思维科学中直接改造客观世界的学问也很多，属工程技术阶层，有人工智能、计算机软件工程、密码技术、情报资料库技术、文字学和计算机模拟技术，以及其他。前三门技术不必多说了，现在只对后几门作些解释：情报资料库的建立、更新充实、高速而准确的检索、提取、复制，已经发展成一门极为重要的工程技术，没有它将无法利用今天极为繁多丰富的情报、书刊、资料，将来更是如此。我们国家在此领域大大落后，其中汉字编码方案一项课题，就争吵到现在还定不下来！必须努力赶上去，不然要误事。

文字学怎么会成为一门工程技术？这是因为今天世界各方面的发展都很快，文字的内容也在不断适应社会生活的变化而变化，新字新词经常出现，旧字旧词逐步废弃，语法也在变。在我们社会主义国家这样一件影响全体人民的事，决不能放任自流，要有控制和计划，如汉语拼音计划。这就是文字学的新任务，也成了一门能动地改造客观世界的工程了，它的理论基础是作为技术科学的科学的语言学。

人脑是一台具有大约 10^{15} 个开关的巨型数字计算机。只不过远比今天的电子计算机要复杂，而且我们对人脑结构也不清楚。要弄清这个谜，光靠脑神经解剖学也困难，近 20 年来这方面虽有很大的进展，但离目标还远；所以要开辟第二条途径，要用电子计算机来模拟人脑的部分功能，也就是试着改变电子计算机的操作运转程序，直至电子计算机也能出现如同人脑的功能，尽管还是局部的功能。这样就可以认为人脑的部分功能结构有如同电子计算机的程序结构，尽管还不一定能在两者之间画等号，但对理解思维是个重要的启发。许多人工智能的专家在用这个方法，美国的明斯基（Minsky）[13]就尝试着用这个方法来寻找音乐家写作复音音乐的思维过程。所以计算机模拟技术是研究思维科学的一个有效工具。

思维科学的上述内部构成表示在图 2-1 上。当然它还是不完整的，有待于今后的订正和补充。

2.1.4

我以前曾表示过希望每一个现代科学技术大部门都能组建一个科学院，但也估计中国思维科学院大概要等到21世纪才能成立。21世纪是从2000年到2100年，离现在还有17年到170年，这个希望不能算过高吧。能否力争二三十年后成立中国思维科学院？但这些也都是猜测，重要的是在思维科学领域中动手做些踏实的工作，而第一步是要看我们对思维科学的内容有没有个比较正确的设想，好作为开步走的方向。因此我认为本文所讨论的问题还是值得同志们关心的，到底对不对，请大家来研究。

现代科学技术的研究要靠集体，在现阶段，不可能有什么实体机构，建什么研究所，设什么专业，最多只能成立个同道者的学术交流组织，搞个思维科学研究会或思维科学学会。但即便成立研究会或学会也要有个组织的核心，这个核心要有必要的各方面专家，要志同道合、团结一致，形成学术组织的公认领导力量。所以当务之急是物色人选并组建这样的核心。

要什么样的核心专业人员？我以为在思维科学的工程技术方面比较好办，由于建设社会主义的实际需要，自然而然地会出人才，而且在建立思维科学的工作中，他们是后续的力量，尽管将会是强大的后续力量。当前要培养的是在思维科学部门的基础科学和技术科学方面中的各主要学科的核心专业人员。根据前面的讨论，这些专业是哲学、数理逻辑、心理学、模式识别、科学语言学、文艺理论、科学方法论、人工智能和电子计算机科学技术等九个方面。我们需要的是在这九个方面有素养，而又对思维科学热心的专家。这九个方面情况也不尽相同：在我国，哲学、文艺理论和电子计算机科学技术方面的专家多一些，而其余六个方面人才就少了。所以物色人选建立核心的思维科学力量将是很不容易的事。

这个核心力量还必须是中青年的科技人员：这主要是因为他们要工作到21世纪才能交班。因此，现在他们应该是30多岁到40多岁的人。为了能在思维科学的创建中，这批人能相互了解，交流讨论学术，达到基本一致的学术思想而起到核心作用，每一个成员的知识面又必须广阔。这是又一个条件。此外还有第三个条件：要有阅读外文的能力。这对建立思维科学新学科也是非常重要的。

由于上述的三个条件，找这样一批人才大概不会很容易，也可能出现缺门。怎么办？还得请知识面比较广的老科学技术人员来传、帮、带。这是老一代的义务，所以要组织安排好。

做好这几件事，就可以酝酿组建中国思维科学研究会或中国思维科学学会了，但这可能已经到了我国国民经济和社会发展的第七个五年计划期间。

选自《自然杂志》，1983年第8期。

2.2　开展思维科学的研究①

来自全国各地从事思维科学工作的同志们欢聚一堂，开一个学术讨论会，我想有三个目的：第一，我们这些搞思维科学的同道们，都是来自五湖四海，过去可能在书信上或文章上交往过，是相知的，但不相识。比如我和在座的好多同志都有书信往来，但没有见过面，今天是第一次见面，大家互相认识一下，这是一件事。第二，关于思维科学这门学问，说新么也新，要说不新吧，它也不新，因为关于思维的问题，已经研究很久了。也就是因为这个原因，同志们对于思维科学的看法，可能是各种各样的。在这个会上我们可以交换一下看法，本着求同存异的精神，最后总可以得出一些共同的认识。这样，今后的工作就有基础了。至于不同的意见，会后大家再慢慢讨论，逐步去解决。第三，同志们希望搞一个思维科学的全国性学术组织，这个意见是好的，但不是一下子可以搞起来的。如果在这次会议上，能够组织一个全国性学术团体的筹备小组，就算有了一个好的开端。由这个筹备小组再进一步研究，如何成立全国性学术组织的问题。这三件事我看能够办到。

我下面讲的只能说是抛砖引玉，请大家来批评指正。

2.2.1　思维科学与新技术革命

我以为，我们对于思维科学的研究，应该有一种紧迫感，在组织学会方面思维科学比起系统工程已经晚了五年。系统工程全国性的讨论会是在 1979 年 10 月由国防科委召开的，接着准备了一年的时间，中国系统工程学会，就在 1980 年 11 月正式成立了。而我们思维科学讨论会在 1984 年 8 月初才开，晚了五年。为什么说要有紧迫感呢？因为在去年 10 月 9 日，赵紫阳同志在一次会议上作了重要指示，他要我们研究在新技术革命将要来临的形势下，应该采取什么对策。赵紫阳同志说，这是一个关系到我们四化建设的大问题。在国务院技术经济研究中心马洪同志主持下，已经开了两次规模比较大的讨论会，研究新技术革命的对策。那么思维科学与新技术革命有什么关系呢？如果有关系，那当然应该有紧迫感。

1. 人类社会发展中的四种革命

对于这个问题，我是这样看的[14]，人类对于客观世界的认识和改造有一系列变化或飞跃，这些飞跃称作革命。可以分为四种革命，一种是人认识客观世界

① 这是钱学森 1984 年 8 月 7 日在北京召开的全国首届思维科学讨论会上的报告。

的飞跃，这个我们叫作科学革命；一种是人改造客观世界的技术飞跃，这个叫技术革命；那么，由于这两种革命，我们的生产力发展了，生产关系和一部分上层建筑也必然有所变化。形成这方面变化的飞跃，我管它叫作产业革命。产业革命是一个很重要的概念，人类社会已经经历了好几次产业革命。我认为，最早的一次产业革命，是人从自然界猎取食物到种地、养牲畜，就是有了农业、牧业，这是人类生产体系的一次很大的变化，从而引起了人类社会的变化——从原始公社进入到奴隶社会，这是很古老的一次产业革命。后来在奴隶社会当中，生产力又发展了，人不但是为了自己享用而生产，而且是为了交换而生产，也就是出现了商品生产。这又带来了很大的变化，实际上，就是奴隶社会崩溃，进入到封建社会。社会制度的根本变革叫社会革命。那么从这两次产业革命来看，好像都是产业革命引起了社会革命。那是不是说产业革命必然引起社会革命，产业革命在前，社会革命在后呢？这是一个大问题。

从我刚才说的这两次产业革命来看，好像是这样。但是，让我们再来看看第三次产业革命，就不完全是那么回事了。那是 18 世纪末的那一次产业革命，即由于蒸汽机和大工厂生产的出现，引起的产业革命。实际上，在英国，这一次产业革命是在资产阶级革命成功以后，是社会革命在前，产业革命在后。我称之为第四次产业革命的，是列宁在《帝国主义是资本主义的最高发展阶段》这本书里讲的那种情况，也就是工业生产变成了国家规模的，国际化、世界化了。这一次产业革命标志着资本主义进入到帝国主义阶段，但是社会制度没有根本的变化。所以，从第一、第二、第三、第四次产业革命来看，它跟社会革命的先后关系，并不是固定的。重要的是，生产力的发展到了一定阶段会引起产业革命。最近看到一篇文章，说产业革命就是工业革命，并且研究为什么在中国不出现那样的产业革命。实际上这是很清楚的，因为那时中国在封建社会，中国的生产力没有发展到那个阶段嘛，所以不会出现英国在 18 世纪末的那次产业革命。事实上，我们国家是在中国共产党领导全国人民夺取了政权之后，生产力才得到很大的发展，就是说，我们首先是社会革命成功了，才有可能出现产业革命。

2. 所谓“信息社会”

那么，这和思维科学有什么关系呢？这要联系到现在正在讨论的新的技术革命，或者照我的说法，是第五次产业革命。它的核心是什么呢？赵紫阳同志提出了“信息社会”的问题。北京工业大学二分校洪加威同志有一篇文章，他建议不要叫“信息社会”[15]，因为这容易跟资本主义社会、封建主义社会和奴隶制社会这些政治术语中的“社会”一词的含义混淆，他建议叫信息的社会化。不管怎么说吧，意思都是指信息、知识、智力的重要性要提到一个前所未有的高度。那当然与思维科学有密切的关系。在国外，前几年提出了一个词：信息圈

(noosphere)。过去有大气圈、磁圈，现在又出了个信息圈。“noo”在希腊文里的含义就是知识信息，后面加个“sphere”。我觉得，这个字很值得我们注意，这就是说我们生活在一种气氛里，什么气氛？就是知识、信息的气氛，也就是思维、知识的气氛，这么说来思维科学当然重要了！

既然说到“信息社会”，那么我想从什么是信息这一点开始。英文里的“信息”和“情报”实际上都是一个词“information”，就是知识，它是指人通过实践所认识到的客观世界的规律性东西，也就是人类创造的精神财富，不是物质的。可能知识最后要印在书上，纸张是物质，但那只是一个表象，是载体，当然，重要的不是纸，不是油墨，而是所载的知识，所以知识实际上就是人类创造的精神财富，它不是物质的。知识这种精神财富是非常广泛的，图书馆、档案馆、资料库、博物馆、美术馆、唱片、录音带等等保存的东西，都是精神财富。在“信息社会”，人类的知识要变成生产力。现代化的生产，没有知识是不行的。

关于知识，我觉得外国人也有一些奇怪的说法，比如奥地利出生的英国“科学哲学家”波普尔就说了一些怪话，他提出所谓“三个世界”理论，说人是“世界1”，客观世界是“世界2”，人类创造的精神财富，即知识是“世界3”。奇怪的是，他说世界3是独立自主地发展的，这就荒谬了。这个“世界3”，即精神财富，是人创造的，它怎么能独立自主地发展呢？按照辩证唯物主义的观点，客观世界是物质的，是第一性的，人的精神是第二性的，人可以通过实践逐步地认识客观世界本来存在的规律，从而利用这些规律来改造客观世界。而人通过实践认识到的客观世界的规律叫知识，精神财富。我觉得这是符合马克思主义的哲学的，而波普尔的那个讲法是唯心的。

但是，我们也要吸取他的一点正确的东西，就是他把人类的精神财富，把知识的重要性提高了。从前古典的辩证唯物主义哲学讲，物质是第一性的，精神是第二性的，而波普尔提出还有一个方面，就是人通过认识客观世界所创造的精神财富。这也很重要，他这句话我赞成。所以人不仅要继续认识客观世界，继续创造精神财富，而且还要经常地使用前人已经创造的精神财富。而我们所说的信息、情报，广义来讲就是人的知识，人类多年来所创造的精神财富。为了说明精神财富的重要性，波普尔说，假设现在打核大战，两个超级大国发射核弹，把整个地球上累积起来的物质财富统统打掉，把精神财富也打光了，就是说，有知识的人都死掉了，图书馆、资料库等等也都没有了，人类又回到了最原始的状态。那么，在这种情况下，我们要再建设起来的话，也许还要100万年的时间。但是，如果仅仅是把物质财富摧毁了，而人类的知识还保存着，我们再建设就不需要那么长时间，10年、20年，顶多几十年就可以了。我想这个例子说明了知识的重要性。

3. 科学与“前科学”

什么是知识，大家常常想到的是科学，这是很重要的知识。但是现代意义上的科学，还有一个约束，就是科学必须能够相互联系起来，构成一个体系。现在不但自然科学、工程技术是一个体系的，还要与社会科学联系起来，整个现代科学技术要联成一个整体。是不是知识就限于科学技术？那当然不是。人从实践中认识到很多东西，其中有些东西还没有进到科学的结构里面去，是经验。比如，现在争议很多的中医是不是科学？中医很重要，国家提倡发展传统的医学，但是中医现在的处境很困难，有的同志甚至说中医现已濒于消亡。这里且不讲 10 年内乱的情况，就是现在，这个问题也还是这么严重！我想，问题的症结是，中医不是现代科学，是经验。中医治病确实有疗效，但是怎么回事，恐怕老中医自己也说不清楚，中医书上也说不清楚。我举这样一个例子是想说明，中医上的东西是知识，但不是科学。也可以用恩格斯的话说，中医是经典意义上的自然哲学，而不是现代科学[16]。自然哲学里虽然有丰富的经验，但包括了很多猜想的因素，因此不是科学，但是我觉得，说不是科学并不等于就不重要。

我认为，我们谈信息，或者说知识，说人类的精神财富，包括两大部分：一部分是现代科学体系；还有一部分是不是叫前科学，即进入科学体系以前的人类实践的经验。这都跟思维科学有关系，因为这些都是人认识客观世界的结果，而思维科学就是要解决人是怎样认识客观世界的，有什么规律。因为客观世界是无穷尽的，人认识客观世界的过程也是无穷尽的。人现在认识到的客观世界，不管是科学还是前科学，只是整个客观世界的一个很小的部分，而且情况是在变化的。一部分前科学，将来条理化了，纳入到科学的体系里，那么前科学的内容是否少了一点呢？不会的，因为人类还在不断地总结自己的实践经验。这都联系到思维科学，所以思维科学的任务非常光荣，是一件大事情。从前人类发展还没有到达这个阶段，好像不大认识这个问题。现在说“信息社会”，知识是生产力，那就非常重要了。我们要从迎接新技术革命，或者迎接人类社会的第五次产业革命的角度来认识这个问题。所以，我觉得研究思维科学确实是当务之急。

2.2.2 思维科学中的基础科学

下面我就分别讲一讲思维科学方面的问题。先从思维科学的基础学科——思维学讲起。

先说人的思维除了有自己能够控制的意识以外，还有很多所谓下意识，就是人脑不直接控制的意识。比如人走路，开步走是人脑控制的，走了二、三步后就“自动化”了，脑子并不去想该怎么走。要拐弯了，又控制一下。所以，人确实有很多意识是没有经过大脑的。这是另外一个科学部门，即人体科学要研究的。

思维科学是要研究人能够控制的那部分意识。

以前我按我们习惯的称呼，把一个人的思维分成三种：抽象（逻辑）思维、形象（直感）思维和灵感（顿悟）思维。这只是说从思维规律的角度来说，有这么三种。但是，第一，不排除将来进一步研究会发现这样划分不合适，或还有其他类型的、具有不同规律的思维。第二，虽然划分为三种思维，但实际上人的每一个思维活动过程都不会是单纯的一种思维在起作用，往往是两种、甚至三种先后交错在起作用。比如人的创造性思维过程就绝不是单纯的抽象（逻辑）思维，总要有点形象（直感）思维，甚至要有灵感（顿悟）思维。所以三种思维的划分是为了科学研究的需要，不是讲人的那一类具体思维过程。

这三种思维学都是思维科学的基础科学，也可以合称之为思维学。我在下面还要提出另外一门思维科学的基础科学：社会思维学。

1. 社会思维学

人的思维是不是集体的？答案是肯定的。因为我们要认识客观世界，不但靠实践，而且还要利用过去人类创造出来的精神财富。什么知识都不用，那就回到了 100 多万年以前我们的祖先那里去了。所以人的思维质量的好坏，一是靠社会实践，二是靠知识。知识是人类社会实践的一个非常重要的补充。所以人的思维是集体的。

从学术讨论对人的启发作用这个角度来看，也是如此。我感到，我们国家的学术讨论气氛不太活跃。所谓不活跃，就是一个同志在会上讲了之后，没有一个人发言、讨论。第二个人再讲，也是如此。外国的学术交流和我们不一样，一个人作了报告之后，讨论热烈极了，发言各有不同，有的是提问，有的发表不同意见，有的作补充，有的提新看法。所以过去我曾经想，学术讨论是不是西方的东西？那个在天文学上有很大贡献的哥白尼，他之所以会提出日心说，据说是得益于他所在的波兰大学里有一个很好的学术组织，大家相互促进，所以他才有那么大的成就。但去年王炳照同志说[17]，在南宋淳熙二年，吕祖谦在江西信州主持“鹅湖之会”，由朱熹和陆九渊等讲论为学之道，辩论甚烈，首开“讲会”之先河。这篇文章里还说，讲会有规定，各种意见都可以讲，不同意老师的意见也可以讲，老师不能骂学生。还有一条是不准在会场之外吹冷风。违反这些规定者，下次不许参加，这是很严肃的！既活泼，又严肃。南宋淳熙二年，即公元 1175 年，比西方的学术讨论会还早 300 多年呢！

当然，我们党提倡“百花齐放，百家争鸣”，这确实是非常重要的。据我个人体验，在国外，哪一个学术中心学术讨论搞得好，这个中心的学术成果就多。在学术讨论中，不是每个人讲的都是正确的，错了也没关系。我们中国人现在好像错了就下不来台似的。我认为不然，在讨论中，讲错话，提错误意见的人，对

于最后得出的正确结论也是有贡献的。

所以人的思维是集体的，不完全是一个人的，它受集体的影响也是非常重要的。

我看到过两篇文章，一篇是朱长超同志写的[18]，还有一篇是李燕强同志写的[19]。我认为这两篇文章里讲了很多有意义的事情。比如说，在人类发展中意识是逐渐由感性意识转向理性意识，由具体的意识转向抽象的意识，由集体意识向个体意识发展，这一点很有意义。这就是说，在人类的早期，个体意识几乎是没有的，都是集体的。人们还举蜜蜂的例子，认为蜜蜂是集体的意识，没有个体的意识。在观察人类社会组织进展中也发现，人类进步了，才逐渐出现个体意识。朱长超同志似乎强调这一点：他说，越是古老的意识，理性成分、抽象的能力、个体意识的水平就越低。言下之意，他不大强调集体的作用，社会的作用。是不是朱长超同志也受了皮亚杰的影响？皮亚杰的心理学是不大讲社会作用的。我觉得，我们要很好地认识这个问题。人是社会的动物，人的发展不能脱离社会对人的影响，我们国家的心理学界在这一点上是明确的，所以我觉得，我们是不是要认真地探讨一下，在思维科学中的基础科学里也研究集体和集体所创造出来的精神财富对于一个人思维的作用。那么，反过来说，个人生活在社会里，它对于社会的集体也有作用，也有贡献。因此，我们要研究个人跟集体和集体创造的精神财富在思维方面的相互作用。

这可能是一门新的学科，社会思维学。它当然跟社会心理学等等都有关系。我们研究思维科学的，也要研究社会思维学，这是一个客观事实，不研究不行。我认为，这个问题在我们国家是个重要问题。因为在我们国家，不但是学术讨论气氛不浓，就是一个集体当中，封锁、闭塞、闭关自守等现象也非常严重。这是违反社会思维学的规律的。

因为社会思维学要研究人作为一个集体来思维的规律，它与集体的相互关系，相互影响。所以这是一个系统学的问题。从系统学的角度来看，一个系统不是浑然一体，而是有层次结构的。当然，最底层是人，每一个人。再以上是集体（家庭、同道等）、国家、世界。我也发现，现在一种常见情况是，他的爱人跟他是同行的，搞一样的东西，这个家里就是一个调，形成这种情况的社会原因我不去讲它了。在国外这种现象是很少的，很可能一个是搞自然科学的，一个是搞社会科学的。这里我想说明的是，系统中怎么样的一种组合是最好的。我们要讨论问题，假设两个讨论问题的人，或者讨论问题的集体完全没有共同语言，你说的他根本不懂，当然不行，所以又要有同行。但是，你接触的这个集体里都是清一色的，恐怕也不行。清一色的组织是出不了好东西的，反而变成了闭塞。

那么，专与不专怎么统一起来？这就说到一个非常重要的问题，就是人的群落问题。关于这个问题，我最近看到山东大学的李庆臻、胡孚琛二人合写的一篇

文章[20]，他用了一个生态学的名词，我认为这篇文章里面讲的就是我刚才说的意思，即怎样组成群落？这是应用社会思维学的问题。

2. 抽象（逻辑）思维学

首先必须说明，我们在这里讲的逻辑，是人的思维规律，而不是作为哲学涵义的客观世界发展运动的规律，那将包括因果关系等不属于抽象思维学的内容。哲学内的辩证法也是讲客观世界是发展运动的，也不属于抽象思维学。

我们在这里讲的抽象思维学，也有些同志认为可以直接称为逻辑思维学，但我觉得仍然称作抽象（逻辑）思维学为好，因为抽象思维比逻辑还广阔些。就是说，抽象思维学里面的逻辑思维比我们常常说的数理逻辑似乎更广泛一些，譬如说多值逻辑，数理逻辑碰到多值逻辑，结构就要变了，譬如所谓量子逻辑[21]。这种变成符号化的数理逻辑，碰到各种不同的情况，它的结构就变化了。也还有其他逻辑，比如所谓模态逻辑（modal logic）[22]也是非常重要的。我觉得我们研究抽象思维学是不是可以研究抽象思维与数理逻辑的关系？这是一个问题。

抽象思维中还有辩证思维，有的同志称之为辩证逻辑。据我所知，1982年出了两本书，一本是章沛主编的《辩证逻辑原理》，由湖南人民出版社出版；一本是马佩主编的《辩证逻辑纲要》，由河南人民出版社出版。“辩证逻辑”是什么？讲讲道理比较容易，具体运用就不那么容易了，用不好会犯错误，原因是没有形成规律。作为思维科学基础的辩证思维理论如何进一步规律化也是抽象思维学的一项艰巨研究任务。关于这一点，我从中国社会科学院近代史研究所何新同志的文章[23]得到启发：我想如果把集合论的二维平面 Venn 图加以发展，引入时间，形成三维的结构，成为枝干有粗细的“树林”，也许有可能引出“数理辩证逻辑”，使辩证思维规律化。只有到那时，辩证思维才真正进入抽象思维学。

再有一点，不知道对不对？就是形象地讲，抽象思维好像是线型的，或者分枝型的，这是它的特点。这联系到一个非常重要的问题，就是电子计算机。因为一切逻辑思维的东西都可以输入电子计算机，都可以用电子计算机来代替人的劳动。现在电子计算机的最大作用就是如此。也就是说，他可以代替人的抽象思维，但不能创新科学技术。不久前胡世华同志说了一句话，对我很有启发。他说，图灵机（Turing machine）就是这么个东西。我一想，对了。许多同志把图灵机讲得神乎其神，实际上，图灵机是代替不了人的，因为图灵机能够做的，就是抽象思维、逻辑思维这一套。人的思维比这个范围大多了，我们搞思维科学的必须明确这一点。Turing 有贡献，但是我们把图灵机说得那么万能，也不妥当。

3. 形象（直感）思维学

再就是形象思维或叫直感思维。这个问题，以前我从实践当中有些体会。

1957 年写了一篇短文[24]，那时候我没有什么理论，仅是朴素的感觉。技术科学是把基础科学应用到具体的问题当中去，这里不完全是逻辑推导、演算。因为要解决一个具体问题，现象是很复杂的，你要在这么复杂的现象里抓住要害才行。抓不住要害，就无从做起。那么要害问题到底是什么呢？它是在东面还是在西面呀？如果它本来在东面，你往西面去攻，攻了半天白攻了。而且，既然问题是复杂的，你就不能一口吞下去，得一口一口地咬。往哪儿咬，从何下手？这就是要对研究对象有一个认识。至于认识是怎么来的？那时我也说不清楚。

再有一点是，我那篇文章讲，工程师处理问题，别人看来不明白是怎么回事。譬如总工程师最后下了决心，大家就这么干。一干对了，究竟怎样对的？为什么要这样干？谁也不知道是怎么回事。在当时，我说的是总工程师。实际上，战争中的指挥员，都是这样的人物。他有丰富的经验，他把地形一看，形势一估计，决心就下了。参谋们可能向他提了很多方案、建议，他说不行，就这么打。别人搞不清是怎么回事，但是仗一打，胜了，说明他是正确的。

这样的例子多极了，任何人只要做工作，大概都有这个体会。关于这个问题，张光鉴同志有个理论，叫相似论[25]。他说是探讨相似在科学技术思维发展过程中的作用和规律。大家可以进一步研究，形象思维中相似是个因素。我 1957 年的那篇文章只提了个问题，当时也闹不清楚是怎么回事，但是现在我觉得，这里头最根本的是形象思维，或者叫直感思维。这个形象思维好像跟那个抽象逻辑思维的路子不一样，抽象逻辑思维是一步步推下去的，是线型的，或者又分叉，是枝杈型的。而形象思维常常连一点来龙去脉都搞不清楚。所以我似乎觉得它是不是面形的、二维的，而不是一维的？

诺贝尔奖金获得者 Pauling 是位化学家，搞理论化学的，研究分子结构，把量子力学用于研究化学分子结构是他的贡献。研究分子结构，都是用电子衍射等办法。当研究生向他报告，把某个分子结构研究出来了，Pouling 想了几分钟，说不对，你说的那个结构在那个角落里打架了，没有空间，原子塞不进去呀。Pouling 没有画图，就那么一想。研究生回去一查数据，果然是这个问题自己忽略了。你说 Pauling 老师是推理吗？不是，是怎么出来的？他也说不清楚，但他知道就是这么回事。

去年，美国科学家 McClintok 获得诺贝尔生物学奖。McClintok 是专门研究玉米遗传学的。在 20 世纪 40 年代，她曾预见到染色体中遗传基因内的“转座因子”(transposition elements)。当时，她的理论是整个遗传学界不能接受的。到了 50 年代以后，脱氧核糖核酸的螺旋结构才搞出来，到 70 年代末期在细菌中发现了“转座子”（transposon），才证明 McClintok 在 40 年代末提出的理论是正确的。但在 40 年前，大家头脑里不可能有今天的分子遗传学概念，而McClintok 是超越了那个时代的，那当然不完全是科学推理。她的工作方法也似与众不同，

有时候，她一个人想问题，跑到树荫底下捉摸，冥思苦索。她在获得诺贝尔奖金后说："我这么多年来，确实得到许多愉快的经历，我的经历就是问玉米，要玉米给我解决问题。我给玉米出题，然后我就等着，从玉米生长的表现得到回答。"她认为，她跟玉米的关系好像是朋友关系，可以对话似的。所以，很难说她那些工作完全是靠抽象（逻辑）思维的。

在日常生活中，这种例子多得很。比如说，有块铜片不平，一位钳工老师傅拿起锤子，当当几下子就平了，别人就不行。这位钳工老师傅能不能把他的经验给你说出个道理来？说不出来。这说明什么呢？说明这不是科学的推理，而是实践的经验。这些实践经验还没有总结出科学的规律来，还没有进入到科学的行列。

我认为，我们既要认识到经验的重要性，又不要犯经验主义的错误。在运用经验时，切忌硬套，死抱住过去的老经验不放。在现实生活中，这个毛病恐怕还很多。例如现在中央的许多方针政策，很多基层干部不理解，觉得中央的政策跟他那一套老经验对不上号。记得几年前，我去参加一个讨论国民经济长远设想的会议。我不懂经济，是外行，思想倒是解放的。最后，有一位从新中国成立后就担任一个省的经济领导工作的老同志说，他听不懂我们讲的话。他说，"在新中国成立后的一个时期，我这一套很灵嘛，为什么现在不灵了？"这很简单，就是你拿过去那一套经验往现在的情况上套，那就坏了，变成了经验主义。所以，我们在运用经验、形象思维或者相似论这样一些概念时，要有一点警惕性，弄不好就会犯错误，变成经验主义了，变得思想很保守。所以我以为，如何正确运用陶伯华同志提出的"类比推理"[26]是个问题，要是机械地运用这种类比推理，就要犯错误，就会变成套框框。总之，运用形象思维要小心，要用得对。

反过来讲，人认识客观世界首先是用形象思维，而不是用抽象思维。就是说，人类思维的发展是从具体到抽象。比如，小孩子的思维也是从形象思维开始，然后到抽象的，你跟很小的小孩子讲道理是讲不通的。在这一点上，我同意王南同志的意见[27]：形象思维在一些动物身上已经开始了，人类很早就有，从人的发展来看，一般讲，语言先于思维，是指抽象思维而言的，形象思维是在语言以前就有的。是不是这样，大家可以研究。

这样说来，形象思维应该是我们当前研究思维科学的一项最重要的任务。因为它这么广泛，涉及人类很大一部分知识，很大一部分精神财富，但我们现在对它却不怎么了解。关于这个问题，凡是对我们有用的，可以给我们提供一点线索、一些启发的东西，都要下工夫去搜集、分析、研究。

首先在心理学方面，现在兴起来的认知心理学，华东师范大学胡寄南教授在这个会议上专门有论文报告[28]，这当然是很重要的一个方面。认知心理学也涉及模式识别问题。据我所知，在我们国家，研究这个问题的，有中国科学院自动

化研究所的戴汝为同志、中国科技大学生物物理系的陈霖同志和华中工学院的李德华同志等。这是一个很大的问题，比如认字，人认字的本事大得很，写得很潦草的字，龙飞凤舞，也难不住人。用机器去认，就不行了。现在，外国图书馆里有盲人读书机，认印刷体可以，能读出来，书写体就认不出来。前几年邮政局搞邮政编码，中国科学院自动化研究所搞了一个识别数字的机器，虽然只是几个简单的阿拉伯数字，由寄信人填写，机器也识别不全，邮电部只得放弃这个办法，还是由人去分。可见，人比电子计算机要高明得多。

其次还有语言问题。不久前在北京举行的“第五代电子计算机专家讨论会”上，中国科学院声学研究所的侯自强同志说，你们搞计算机语言，但人的自然的话叫言语，要加以区别。人听话的本事也是很大的，比如我在这儿讲话，即便我的话里毛病很多，可能文法也不对，还有些语气词夹在里头，大家可能都听得懂。一个人的口音很重，也可以听懂。要是机器呀，就不行。现在机器能够听懂的，就是口令式的东西，国外已在应用，比如战斗机上驾驶员的口令。为了在战斗中使驾驶员的眼睛不离开敌机，得用口令来操纵，这个机器能听懂，但是听人讲话或者听言语不行。这里边是不是有个形象思维的因素？

第三个方面是人工智能，这里问题就更多了，什么计算机下棋呀，专家系统呀，等等。对于一位熟练的人来说，那是没有问题的。他觉得该这么办就这么办。但是，他是怎样做出决定的？为什么一下子就看得那么清楚，这是不是跟形象思维有关系？因为，可以肯定的一条是，那不完全是推理。

再者，中国科技大学的陈霖同志认为[29]，图像或者模式识别是跟图形的拓扑学有关系，是一个整体分析问题。过去，不用拓扑观点，不用整体分析观点的路子可能走错了。这个概念是陈霖同志在美国提出来的，很受重视，这可能是一个新的途径。当然，这涉及视觉的生理心理学问题。必须指出，生理学家、脑科学家们，对视觉确实下了很大工夫。但是人的视觉是很复杂的，研究了这么长时间，也出了不少成果，然而直到现在，根本问题仍没有解决。这不是指光的信息是怎么进去的，这个简单，而是指人脑是怎么处理这个信息的。比如熟练的外文打字员，为什么打得那么快[30]？如果程序是：人看到一个字，然后反射到脑子里，再由肌肉去控制手指头，那就慢得多了。实际上，这里面是个什么关系？所以在视觉生理心理学方面，有很多材料可能对于我们研究形象思维学是有帮助的，我们要吸取这方面的成果。

第四是文艺理论、美学，这当然跟形象思维有密切关系，我们国家对这个问题的争论是不是已经解决了？不少同志从前说，文艺只有抽象思维，没有形象思维。后来毛泽东同志说还是形象思维。关于美学，什么叫美，这是跟形象思维密切相关的，而且是一个古老的领域，已经做了很多工作。这些工作虽然还不能说就是形象思维学的工作，只能说是形象思维学的应用（关于这一点，在后面讲美

学时还要说)，但对于我们搞形象思维一定是很有意义、很有帮助的。所以，我们也要从这一方面吸取营养。

第五，就是人体特异功能。人体特异功能怎么跟形象思维有关系呢？因为从已经做的一些实验来看，是很有意思的。比如，耳朵认字，或者认出密封在里面的东西，这个过程是很复杂的。他认一个“十”字，开始认的时候，可能不是个“十”字，是一部分，比如只有一横，或者一横上还有一竖，有点像“上”字，又一看不对，好像是“下”字，这段过程，可能有几分钟。据有特异功能的人自己描述，他脑子里有个形象在那儿转，一会儿像这个，一会儿像那个。几分钟之后，他认出来了，一下子就明确了。这个过程好像是人的视觉过程的放慢，可能放慢了几千倍，从而使过程可以描述出来，这很有意思。另外，特异功能还有一个低倍数显微镜的作用。这方面做过一些认真实验的，是北京大学陈守良同志。这也可以给我们提供形象思维的资料。

第六，联系起来，还有个做梦的问题[31]。人在醒觉时得不到对问题的答案，可以在梦里得到，在梦里怎么得到答案的？他描述的梦里的情况都跟形象有关系。再者，跟做梦有很密切关系的是灵感。我们这儿说的是形象思维，不是灵感思维，但是灵感思维里的一些观察结果，将会有助于我们研究形象思维。关于灵感问题，我在后面还要讲。

第七，最后一点，就是心算神童，这些人的情况是很有意思的[32]。不久前，我见到中国科学院半导体所的王守觉同志，他说我们国家的一位心算神童史丰收，在他那儿工作过一段时间，他经过观察认为，史丰收之所以算得那么快，是他脑子里记住了一些具体的数值计算结果，他有个很大储存库。当你出了题目以后，他就用那个储存库里已有的东西凑凑就解决了。凑不上，再稍微改一下，这样计算，工作量就小多了。我设想，他库里的东西跟你出的题目怎么个凑法？这恐怕不完全是逻辑的东西，对我们研究形象思维也可以提供素材。

以上我说的恐怕还不全，我的意思是，要综合一切可以利用的素材，加以整理，把它构筑成一门形象思维的学问——形象（直感）思维学。当然，在运用这些素材时，我们要采取严肃的态度。现在我看到有一些同志在论述形象思维时，好像把形象思维说得有一点虚无缥缈，好像形象思维什么都行似的。有同志提出来一套分析形象思维的“泛系分析”，而泛系分析这个词是吴学谋同志提出来的。还有同志讲“美学的泛系论”，都很难捉摸，不知说什么东西。所以我们在用一切资料的时候，还是要严肃地进行科学分析。

我建议把形象（直感）思维作为思维科学的突破口。因为它一旦搞清楚之后，就把前科学的那一部分、别人很难学到的那些科学以前的知识，即精神财富，都可以挖掘出来，这将把我们的智力开发大大地向前推进一步。这还同我前面讲的社会思维学有很密切的关系，因为人们在交往中，很多是用形象思维，而

不是用抽象思维的。

4. 灵感（顿悟）思维学

关于灵感思维，黑龙江省委党校刘奎林同志做了不少工作[33]。我在和他讨论的过程中有一个想法，好像灵感是形象思维扩大到潜意识。所以我说，如果逻辑思维是线性的，形象思维是二维的，那么灵感思维好像是三维的。这就是说我们的中枢神经系统接受外界的信息，有几种可能性，一种就像人走路，已经开步走了，脚已经踩在地上，这些反映传到人的神经系统，神经系统产生反射式的动作，来控制人的肌肉。这些反射式的动作，是下意识的，根本没有进入到大脑的上层，所以人没感到想怎么走，自然就走起来了。另外，这些信息到了人的大脑之后，是经过显意识，就是人对意识到的思维过程进行加工，然后是有意识的动作，不是反射式的动作。但是所谓灵感，恐怕是人脑有那么一部分对于这些信息再加工，但是人并没有意识到，这在国外也称为“多个自我”[34,35]，即人不光是一个自我，而是好几个，一个是自己意识到的，还有没意识到的，但它也在那里工作。那么，假设一个很难的问题，在这些潜意识里加工来加工去，得到结果了，这时可能与我们的显意识沟通了，一下得到了答案。整个的加工过程，我们可能不知道。这就是所谓的灵感。从前我也讲过，灵感、灵感，不是什么神灵的感受，而是人灵的感受，还是人，所以并不是很神秘的事。不过在人的中枢神经系统里是有层次的，而灵感可能是多个自我，是脑子里的不同部分在起作用，忽然接通，问题就解决了。那么，这样一个说法，实际上就是形象思维的扩大，从显意识扩大到潜意识，是从更广泛的范围或是三维的范围，来进行形象思维。从这个意义上说，灵感思维与形象思维有密切关系，这也是胡建平同志[36]说的意思。

这项工作怎样做？我觉得，现在我们还只好耐心，突破口在形象思维，如果形象思维解决了，那么灵感思维也就比较容易解决了。目前，我们只能收集资料。但灵感的描述有时色彩很浓厚，添油加醋的，所以收集资料时千万注意，要真实。

我还要附带讲点不同意见。山西省社会科学院思维科学研究所张铁声同志，按照 Köhler 的说法，认为 insight 是顿悟，这么说顿悟就是直感了。对这个我有一点意见。看来 Köhler 对 insight 这个字的理解有错误。我理解 insight 是直感，而不是灵感。灵感英文是另外一个字，叫 inspiration。insight 是什么涵义？比如，一个学生与一位大科学家在一起讨论问题，学生觉得这个问题没有线索，不清楚。但是科学家说很清楚。然后，学生去仔细分析一下，做一做实验，证明科学家是对的。为什么学生看不出所以然来，而老师一下子看到了？如果我是学生，就要问老师怎么回事。老师的回答是说不清楚，你好好学，将来有经验了，

知识丰富了，你也可以做到这一点。这就是说，它不是科学，而是经验的积累，这是形象思维的一部分，或者是形象思维在科学里面的直感，也是我们常常说的，这个人看到了问题的核心。就像 McClintok 与玉米“交谈”，看到了玉米问题的核心一样。但是，灵感不一样，它不是我们意识中能够求得的，而常常是把意识放开了，比如，睡觉啦，干别的事啦，忽然来了，就是来去无踪。而直感即 insight 对于专家来说，是来去有踪的，能琢磨得出来的。现在讨论这个问题的人很多，但如天津医院叶伟胜同志也是把直感和灵感混在一起了，结果把直感和灵感都统统认为是人的潜意识的作用。我要强调直感是显意识，而灵感是潜意识。我从自己的接触中感到有这么些问题，讲得对不对？请同志们研究。

以上四点中讲了思维科学的基础科学，大概就是这么一些内容，叫思维学吧！当然，还有同志提出很多其他种类的思维，我觉得不太确切。这里就不一一列举了。

2.2.3 思维科学的应用科学

下面我讲几个思维科学里更接近应用层次的领域。我不是全面地讲，只讲几个我现在认识到的问题。

1. 情报科学技术

关于情报科学技术，大约在一年以前，开过一次国防科工委系统的情报工作会议。在会上我作了一个发言[37]，讲的是科技情报工作里的科学技术问题。为什么我讲这个问题呢？我觉得科技情报在科学技术里面的重要性大家是清楚的，历来领导都很重视。在我们国防科研体系里，情报工作一直在很重要的位置上，有关部门组织了一支相当强的队伍，大概有 10 万人以上。但是，过去总是把科技情报作为一项工作来考虑，没有认识到要做好科技情报工作，还要研究它本身的科学技术问题。比如说，有没有情报学这门学问？我认为有情报学，它当然是一门应用科学，就是把情报工作上升到理论的、系统的学问，使科技情报工作形成一个有效的组织结构体系。

有了情报学之后，具体做这些工作所需要的科学技术，就是情报技术。情报技术也很广泛，比如说现在资料库里的技术就多了，用电子计算机、磁带、磁盘、光盘等等。检索要有一套复杂的系统。其他两个方面又有很多特殊的技术。这些都属于情报技术。

情报科学技术是思维科学的应用范围，或者说是技术科学的层次。现在从事这项工作的人是很多的。迫切需要用思维科学的概念，把这方面的工作认真地发展起来。

2. 语言学与信息学

再一个属于应用科学层次的思维科学，就是语言学。科学的语言学已经是非常重要的部门了，理由是因为信息的传递，总是和语言有关系。而且常常因为各种原因，或者是因为保密，或者是为了让信息可靠地传过去，抗天然或人为的干扰，还有一个编码和译码的问题。因为我们现在传递信息的一种非常重要的手段是无线电波，比如用通信卫星。就是说你在传递信息，这件事是谁都知道的，而且谁都可以接收这些信息。问题是如果你不愿意他接收的话，就要编码，要保密。这是一个很大的问题，一门很大的学问。上面已经讲了科学语言的研究，也有助于形象思维学的研究。因为看起来人的自然语言不光是逻辑推理的问题，好像已经用了形象思维，这方面已经有了一个很好的队伍在搞。我们研究思维科学的要重视这方面的工作。

再一个方面是信息学。关于这个问题，现在思想认识还不统一。什么是信息？有各式各样的说法，人们常常说到美国科学家维纳，这个人我和他有接触，他常常开玩笑似的讲话，所以他讲的并不都是很严肃的。维纳曾经说，“什么是信息？信息不是精神的，也不是物质的。”这句话好像是开玩笑讲的，但是大家都在引用。那么，信息到底是什么呢？有各式各样的说法。我认为信息并没有什么神秘，信息是由一个点（信源）、一个传播渠道和一个接收点组成的。那用什么传递的呢？传递肯定是物质的运动。比如我在这儿讲话，传递的是声波。声波是什么？是空气的运动。如果传递的是无线电波，那是电磁场的运动。这样追下去，一切信息的传递，都是物质运动，不可能有别的形式。只不过是我们怎样来认识这个物质运动罢了。当我们研究信息的时候，有一种特殊的方法，就是看到物质运动的某一个侧面，研究某一个侧面对我们是有用的。物质运动是客观存在的，问题是怎么认识这个客观运动，给客观运动起什么名字，注意它哪一个侧面，这是人为的。请看，物质总是在时空中运动的，而物质有质量，从运动的角度来讲，就是质量，和在时空中所占的位置。研究力学的人就在这个方面概括出了新的概念，比如说动量、能量。既然如此，人也可以注意到物质运动的信息传递的侧面。说它里面有一个信息量，这就是信息学里研究的问题。从香农开始，把信息科学化了，定量化了。所以我个人以为，信息还是物质运动，只是物质运动的某一个侧面被我们概括起来了。

我最近看到山东大学文史哲研究所胡孚琛同志有篇文章讲“广义信息论”[38]，他的广义信息确实广得很，实际上是讲整个系统。讲系统，里面当然有信息；一个系统内部就有信息的变换，也有控制的问题。所以，在讨论这些问题的时候，人们常常提出“三论”，就是系统论、控制论、信息论。这个三论现在很流行，我们社会科学界也接受了三论的观点。什么都是三论，我认为这是思想

上的混乱。怎么是三论呢？实际上核心的问题是系统，就是一个系统论。在系统里面，你要看到信息传递的侧面，那就有信息问题，你要看到控制的侧面，就有控制的问题。所以，我在前年的一次会议上讲，不是三论，是一论，就是系统论[39]。那两论包括在系统论中了。这样一来，也许同志们说我是以系统来概括信息和控制，而胡乎琛同志是以信息来概括系统和控制。我想，整个系统里面的结构，这是非常重要的，由系统的结构产生的功能，当然也是非常重要的，而功能必然有信息传递，也会有控制的问题。这样说是不是更实事求是一点？

2.2.4　关于思维科学的体系问题

下面我再讲一讲关于思维科学的结构问题。关于思维科学的结构，还是和其他科学技术大部门一样：最直接地改造客观世界的是工程技术类型的学科，比如说情报技术；指导理论的是技术科学性质的学科，比如情报学；再把这些概括起来，就成为这个门类的基础科学。而所有的科学，最后最高的概括，当然是马克思主义哲学。马克思主义哲学的核心是辩证唯物主义。每一门科学到马克思主义哲学中间有一个桥梁，就是把这个部门里的原则性的东西概括起来，联系到马克思主义哲学，我把它叫做桥梁，又是马克思主义哲学的基层构筑。

1. 关于认识论

马克思主义哲学是人对客观世界认识的最高概括。马克思主义哲学当然要指导思维科学的研究；而思维科学的发展，也必然会丰富和深化马克思主义哲学。这么一来一往，即从马克思主义哲学到思维科学，从思维科学到马克思主义哲学，中间的桥梁，我认为是认识论。当然，这也会涉及认识论自身的发展。我这里讲的认识论，已经不是经典的辩证唯物主义认识论了，要发展。我查了一下《简明社会科学辞典》（上海辞书出版社，1982）关于认识论这一条，有这么一段释文："研究认识活动的本质及其发展过程的哲学理论。它的主要内容包括认识的主体和对象的联系，感性认识和理性认识的发展，真理的本质，及其发展的过程等……。辩证唯物论的认识论，把实践提高到第一位，并把辩证法运用于认识论，克服了旧的唯物论认识论的缺陷，科学地揭示了人的认识活动的本质及其发展规律，正确解决了认识论的根本问题。"这是对马克思主义认识论的一段评价。释文接着说："现代科学技术发展使认识的主体和客体，手段和方法，都发生了巨大的变化，研究和总结这些变化，并做出哲学的概括，已成为认识论的新课题。"这些说法我是同意的。不要把认识论看作是固定的，它必然要发展，因为人类在进化，人的知识在发展。

对于我刚才说的这一些看法，有一些同志不大同意。比如说，中南矿业学院的曹利风同志有一篇文章《思维科学体系初探》，副标题是"兼评钱学森同志关

于思维科学体系的设想”[40]。他认为认识论是思维科学的基础科学，属于思维科学的基础理论。他的“认识论”也包括了科学方法论、形象思维和灵感。而他的基础理论中也有包括了形式逻辑和辩证逻辑的逻辑学。此外还有跟基础理论平行的生理的基础，那就是脑科学之类的东西。曹利风同志认为，思维科学的技术科学有系统论、信息论和控制论。这三论又出来了。他这种说法，涉及整个学科的体系，什么是自然科学，什么是系统科学，什么是人体科学，这些统统都不划分了。这是一种议论。华南师范大学哲学所的傅寿宗同志不同意曹利风同志把逻辑学说成是思维科学的基础理论。但是，他又说认识论是基础，不是桥梁。还说思维科学只有基础理论和应用科学，没有基础学科、技术科学、应用技术这样三个层次。

所以，这方面的议论很多，思维科学到底是怎样一个结构，大家还可以研究。我的意见就是前面讲过的这些。

2. 思维科学包括脑科学吗?

我觉得关于思维科学的体系还有以下几个问题值得进一步研究。

第一，是科学技术的体系结构。我们不能就思维科学谈思维科学，要考虑和其他科学技术部门的关系，比如和人体科学、系统科学的关系。你不能把系统科学和人体科学的东西拉到思维科学里来，也把它纳入这个体系之中。我认为，研究人的大脑活动，当然是非常重要的，它与思维科学有很密切的关系。诺贝尔奖获得者斯佩里认为，意识、精神活动是大脑活动的最高层次。大脑活动有很多层次，最高层次是精神和意识的活动。而他把研究大脑最高层次的活动叫精神学(mentalics)。精神学又跟心理学有关系。但是，精神学和心理学应该安排在人体科学体系里，因为它涉及的不光是思维、意识，也是人体科学的基础。

不久以前看到一本 1983 年出版的会议录，名字叫“脑的协同学”[41]，四位编辑中的哈肯我是比较熟悉的。他就是协同学的创始人，协同学实际上就是系统学，他叫协同学。看了这本书就会知道，斯佩里提出的所谓精神学，即人脑的最高层次的活动这一门学问，要建立起来是很不容易的。什么叫脑的协同学呢？就是他们觉得，过去研究脑的方法常常是用探针测电位，而脑是那么复杂的一个系统，脑的活动，不是从哪一个局部就可以研究清楚的，而要研究脑的整个活动。这就是协同学的观点。哈肯在文集的头一篇文章中就很强调地说，不能把大脑作为那么多的神经单元的叠加，是集体，但这个集体的活动远远不是把单个神经细胞的活动加起来能够解决的。他特别提出批评的是，过去用的一些探针研究方法。探针的测量对不对呢？当然是对的，探针测量的那一点确实有电位变化，但你不知道其他的点是不是也有变化，你没有同时测量嘛。这种研究方法就很成问题了，这就是只知其一，不知其余。

这就使我想起著名瑞士心理学家皮亚杰的一些论述[42]。他认为，研究心理学，如果是从现象出发去找解释这个现象的答案的话，那就有点盲人摸象似的，没有看到整体，而人的活动都是互相联系的，只从一点去观察脑的活动，然后要做出解释，那就会这样解释也行，那样解释也行，很多解释方法都可以解释得通。为什么呢？因为你没有看到所有这一些因素的联系，它们的协同动作嘛。

我看到外国有的评论说，研究意识、研究人的思维，可以有两条道路。一条路是研究脑——脑科学。第二条道路是从心理学、人工智能，或者叫认知科学方面着手。评论说，看起来走第一条道路好像是最根本、最彻底的，但是这条路很长，一时恐怕得不到什么结果，我们还是不得不走第二条路。

本次会议中有国防科工委航天医学工程研究所刘觐龙同志的论文，对此也有阐述。我讲这些话是什么意思呢？就是说不要把思维科学跟人体科学混在一起了。如果我们用更彻底的办法，这条路非常长，恐怕一时两时不会有结果，还得依靠我们思维科学内部的一些方法来研究。正如物质结构当然可以深入到基本粒子，深入到亚基本粒子、夸克，但多少年来化学家们研究分子结构，并没有等待这些深层结构的阐明；化学还是化学，不必越过学科划分，进入物理学、进入基本粒子物理学。

3. 逻辑是思维科学的唯一基础吗？

第二个问题是，有的同志说，思维、思维学的基础是逻辑。我看这些同志是不是受了古典思维学说定义的影响。古典定义认为，逻辑和逻辑学是唯一的思维规律，人的思维，就是逻辑，就是抽象思维。这在我国是很有影响的，许多人就是抱住这点不放，并搬出经典著作来作为根据。

但是，我觉得，古代的学者认为，只有抽象思维才称得上学术性研究，那些什么实践经验啦，什么小孩学说话啦，又是什么工人师傅的手艺啦，都是不能登大雅之堂的，不能叫思维。不知是不是这样？我们当然不同意这种看法，我们是实事求是的，人的思维是什么就是什么，现在看起来，把人的思维仅仅看成是抽象思维是不对的。

4. 现代科学技术的体系

我要说的第三个问题是，马克思主义哲学是发展的，马克思主义哲学的核心就是辩证唯物主义。辩证唯物主义是人类认识客观世界的科学的最高概括。但是，在马克思主义哲学这个核心之外也是有层次结构的，为什么不允许有桥梁呢？桥梁就是核心结构下面更基础的、联系到各门科学技术的、更直接的那一部分。整个桥梁加核心都是马克思主义哲学，就是马克思主义哲学本身也是有结构的，有层次的[43]。

我的看法是：第一，我们在考虑一个部门的结构时，不能就部门论部门，我们必须看到整体，思维科学跟人体科学还是要分开的；第二，认识论也要发展，古典的东西在它那个时代是个很大的成就，但我们不能抱住古典的东西不放。

我们研究科学体系的时候，不是从人的思维是怎么一个发展过程的角度来考虑的。假如从那个角度来考虑的话，当然最根本的是人体科学，最初总是从人出发，由人来认识客观世界。那就是变成第一位的是人体科学，人体科学通过人的思维，所以，下面是思维科学，然后，人最后认识客观世界了，出现了这样一些自然科学部门、社会科学部门、数学科学部门和系统科学部门。这样排起来的话，最高的层次是人体科学，第二个是思维科学，下面的四个部门是自然科学、社会科学、数学科学、系统科学。我们不是这样出发来考虑问题的，我们认为有几个科学部门，它们最后都要概括到马克思主义哲学中去。我觉得这比较合乎科学技术体系的概念。

5. 美学

关于思维科学与美学。什么是美学？我不是这方面的专家，没有什么发言权。我从前说，美学也是思维科学的一部分。现在看来不能这么说。下面就讲一讲我现在的认识。什么叫美？李泽厚同志说过，美是主观实践与客观实际交互作用以后的主观客观的统一。假如做到了这一点，那么人就感到是美的。而这种相互作用是通过思维来实施的。所以，研究美学当然对思维科学是有启发的，而思维科学的成就也会有助于美学的研究。这一点我在前面讲形象与直感思维学的时候已经说到了。

但是，也要说清楚，美学不仅仅是思维。还有另外一些非常重要的内容。根据马克思主义的原理，美是离不开社会的，文艺是社会的产物。这一点在经典的美学著作，像普列汉诺夫在《没有地址的信》中讲得很清楚，他反反复复地讲了这一点：美是社会的产物。所以，美学不能说是思维科学，而只能说思维科学与美学有很密切的关系，美学是思维科学的邻近科学。我觉得这一点有很多现实意义。比如说，在今天的社会，人生活的环境不一样，经历不一样，人的文化水平、知识、智力都不完全一样，这都影响一个人的美感。

对于文艺，我们从前认为文艺有纵的划分，比如说，小说、诗词、造型艺术、建筑、音乐、戏剧等等，这是大家都承认的，文艺部门也就是纵的划分。但是，我认为文艺还有横的划分，是有层次的[44]。其实这并不是我的话，毛泽东同志《在延安文艺座谈会上的讲话》中说得很清楚，有“阳春白雪”还有“下里巴人”嘛。如果不这样认识，不考虑人的社会存在对于人的美感的影响，那不符合马克思主义，也不符合大家常引用的普列汉诺夫的经典著作嘛。这在毛泽东同志的论述里面也是说清楚了的。

但是，现在有些人好像认为文艺只有大众爱好这一个层次，其他的都不重视。这是单一化的办法。当然，从人数上来讲，大众的爱好是很重要的，我们抓也是对的。但不能只抓“下里巴人”不抓“阳春白雪”，好像没有这个高层似的，那就不对了。要在提高的指导下普及，在普及的基础上提高嘛。这些都不是思维科学能解决的问题，它是一门社会影响很强的学问。所以，美学的问题更复杂，比思维科学涉及的社会问题更多，不能把美学放在思维科学里面，我纠正从前的说法。关于这个问题，我跟中国社会科学院哲学研究所李泽厚同志交换过意见，我们的认识是一致的。

6. 有“特异思维”吗?

下面，我要讲的这个问题把握就更少一些了，就是特异功能。特异功能是人自己可以控制的人体的功能态，这种功能态肯定与人的中枢神经系统的活动有密切关系。因此，我们可以问：气功、特异功能会不会导致人的另外的一种非常的思维活动，即“特异思维”活动？当然，我们国家有许多古老的说法，比如．佛家说“定能生慧”，“定”就是禅定，也就是佛家气功。这就是说，佛家认为练气功会增加你的智慧。现在四川省社会科学院人体科学与自然辩证法研究所叶峻同志[45]也提出人的特异思维问题。

现在许多外国人也这样讲。比如，John H. Crook 写的一本书[46]中，就用了很大篇幅讲气功对于人的智慧的影响。在这本书里，气功称作 TM（transcendental meditation），还说通过 TM 可以使人的智慧增加并发展。研究 TM 就是为了研究还有没有可能使得人的智慧再进一步发挥，这是一种说法。不久以前还看到另外一本书[47]，两位作者都是美国斯坦福研究所的研究人员。这本书的名字叫“精神竞赛”。其含义是说，有特异功能的人跟没有特异功能的人的竞赛。他们用许多科学测量的结果，证明人确实有特异的感受。而且这些特异的感受是可以逐渐培养的，这种培养过程就是要你不受一些常规思维干扰，越脱离常规思维的干扰，你的特异思维就可以越明显地表现出来。这是又一种说法。

再者，从更深刻的角度来考虑这个问题，那就联系到量子力学的哲学解释。我们知道，自从量子力学出现以来，到现在有 60 年了吧！这中间，量子力学结论的正确性都已被实践所证实，这一点大家没有什么不同的意见。但是，对量子力学怎么解释就有不同意见了。因为按照量子力学的观点，所有的物质都是相互作用的，没有孤立的物质。这好像把因果关系给打乱了。关于这一点，从前爱因斯坦就不大满意，他跟尼尔斯·波尔争论，一直争到去世。关于这个问题，30 年代就提出了所谓 EPR 的理论，E 就是爱因斯坦，P 是 Podolsky，R 是 Rosen。这三个人在 30 年代曾经发表过论文，提出隐参量的学说。就是量子力学用的时空不是真的，是表象，还有更根本的东西隐藏在这下面。到底隐藏在下面的是什

么，也还没有说清楚。

最近我看到文章[48]，作者是一个科学记者，他去访问英国伦敦大学的物理教授 Bohm。Bohm 是一位很有成就的物理学家，写过量子力学的理论著作。Bohm 年轻的时候还见过爱因斯坦，所以他对爱因斯坦的意见是很清楚的。Bohm 在 1980 年写过一本很惊人的著作，叫《整体性和隐秩序》[49]，他说，现在我们熟悉的四维时空，不是真实描述物质的好办法，还有更深刻的东西，就是他所谓的隐秩序，隐藏在下面的秩序。他把我们看到的这个秩序叫做显秩序。他说在隐秩序里面，所有的物质都是相互联系的，而且这种相互关系可以超光速地传递。当然他的理论，现在也还没有完全建立起来，但他有这样的基本观点。有趣的是，他谈到这个基本的观点时，对记者说，这个理论要是建立起来的话，可以把特异功能都解释了。

所以，从各方面的情况看，无论是中国古代的话，还是现代外国人对于气功、特异功能的说法，以至于这位 Bohm 教授的隐秩序观点，好像都隐隐约约地说明，还有另外一种思维，就是特异思维。是不是这么回事，请大家来研究。

2.2.5 思维科学与智能机[50]

下面，我想把上述问题归结起来。我们研究思维科学最终是要为社会主义建设服务。现在我们面临新技术革命的挑战，又是“信息社会”。思维科学对于这么重要的一个问题，到底能做什么贡献？这个问题涉及前几天我们在这儿开的一个会——第五代计算机专家讨论会。日本人前几年提出来搞第五代计算机，认为第五代计算机比起现有的电子计算机有许多突破。比如说，包括国家信息处理系统（PIPS），就是计算机能够认识图像。还有一个知识信息处理系统（KIPS），那就是知识库里的东西，机器都能利用。再一个就是专家系统。最后是把这些东西系统地结合在一起，并与逻辑计算结合起来，组成一个体系。这么一个体系要是能够做出来，那就不叫计算机了，它比计算机要广阔得多了，我以为可以叫智能机。因为计算机，就是算嘛，充其量就是把上升到科学的那一部分知识利用起来。前科学的、经验的那一部分没办法算，那不是个推理问题，是形象（直感）思维问题。

前面我讲了，图像处理系统里有经验的成分，经验也是知识。所以知识要比科学的范围广得多；专家系统更是这样。专家系统就是专家的经验，比如说，有了一、二、三，就有九。你问他怎么有了一、二、三，就有九呢？他说不清楚，反正你记住，有一、有二、有三，就有九。这就是在一定范围内总结出来的经验，但是这个经验还没有上升到现代科学。这样的经验存储在库里，如果把这些专家系统都纳入系统里，再加上知识库，那么这系统所处理的问题，就远远超出了科学的范围，把人的实践经验都纳入进去了。所以，这已经不是计算机了，而

是把人的知识充分利用起来了。在美国，这叫做知识工程。我觉得这是有道理的，就是人的知识，人的全部精神财富，我们现在要用一个机器把它利用起来。当然，这并不是说，头一台智能机就能做到这样。但是最后要能做到这样，那就是件大的成就。

我们现在要分析一下，日本人的这个说法有没有道理？我认为是有道理的。我觉得这里新的因素就是想办法把人的经验纳入到这个系统中去。人的说话，人的认字，都有经验的因素。这就联系到形象思维。形象思维比抽象（逻辑）思维更广泛，逻辑思维只是解决科学问题，形象思维是把还没有形成科学的前科学知识都利用起来。这是智能机的问题。

当今人类的精神财富的量是极大的，我们现在的困难就是不能很好地利用它。过去我们的老办法是去学习，或者请教，这个办法太落后了。许多事情我们不知道，不可能知道，没法知道，也来不及知道。以前古人就说，读书靠记嘛，一个人活到老，读书到老，记的东西也就是那么多，“皓首穷经”。那是说头发都白了，还在那儿念书，没完没了的。现在有办法了，不记也没关系，可以通过现代的电子设备，供你调用。怎么是小事情？

我从前在一篇讲情报系统的文章中，有这么一段话：当我们讨论了建立现代化情报科学技术、图书馆文献和档案信息体系之后，让我们想一想，这将是一个多大的变化。向来一个人自一生下来，都得用脑子记住以往人类和自己社会实践经验产生的知识，对于一个脑力劳动者来说，更是如此。古人夸一个学者，说他博学强记，可见在脑子里记住学问的重要性。每个人记得住的东西虽然不同，有些人多，有些人少，但总是有限的。比起人类千百年积累起来的知识量，只不过是沧海之一粟，所以前人也说皓首穷经。在将来，我们将从这样一个繁重的脑力劳动中彻底解放出来，查阅资料可以做到如同自己脑子里记得它一样简便，那就不要去费脑子记了。用计算机的终端就可以了。如果我们再深思一步，什么是情报资料、图书文献档案，它包括不包括文学？当然包括。它包括不包括绘画？包括。它包括不包括音乐、乐谱、录音、录像等等？当然也包括。而且包括文物档案，甚至通过全息摄影，它可以包括造型美术，如雕塑等等。那么，我们所设计的信息体系简直可以包括全部人类千百年所创造的，而且还在不断地创造的精神财富。这全部的精神财富又可以由我们一个人随手调用和享受。这不仅能把我们从旧的脑力劳动中解放出来，而且会给我们带来一个伟大的新世界，一个从来没有的高度文化的新世界。难道这不是翻天覆地的变化吗？脑子不要花在记忆上了，那脑子还干什么？从繁重记忆的脑力劳动中解放出来的人，将有可能把智慧集中到整理人类的知识，全面考察，融会贯通，从而搞更多的更高的创造性的脑力劳动。人将变得更聪明，人类的前进步伐将进一步加快。

刚才讲的这些说明，如果不搞智能机，那么我们将会被人类自己创造的大量

精神财富压垮。如果搞，那么这样大量的精神财富就可以为人们所利用，大大提高人的智力。

看起来这些问题涉及形象思维，这个问题要是解决了，我们还会进一步解决灵感思维的问题。现在可以说，这个方面的研究有个门儿了。就是通过智能机，特别是专家系统，因为无论是图像信息处理系统，还是知识信息处理系统，实际都是像专家系统这样的东西，就是把经验、知识利用起来嘛，而专家系统的概念过去在人工智能里已经用了，并逐步在发展。我们国家现在有很多同志在做这个工作，比如中医看病，已经进入计算机，实际上就是一个专家系统。所以专家系统这个东西并不难。现在的问题是怎样进一步提高，把不同的专家、不同的经验，统统搜集起来，通盘地利用。关于这个问题，我看到马希文同志写的一篇文章[51]，文中讲人工智能的部分，就是涉及这样一个问题。按照马希文同志的意见，这个工作是可以做的。就是把不同的小的专家体系联合起来，成为一个统一的大体系。当遇到问题时，我们可以到这个大体系中去寻找最适合的专家系统。然后用这个专家系统来解决问题。当然第一代智能机搞出来也许还是初级的，但它朝这个方向走了一步，也非常重要。将来还有第二代，第三代，继续做下去，最终总可以做到把人类的精神财富全部调动利用起来。这是一件了不起的大事。这一任务就跟我们思维科学有密切关系。思维科学也要通过这项任务向前发展，比如解决形象思维的问题。既然如此，我们思维科学工作者就面临着怎样参加第一代智能机的工作，怎么为中国的第一代智能机作出贡献的问题。在我们思维科学界，能不能组织一支力量，为中国的第一代智能机作出贡献？这可是一项重要的、全国性的任务。行不行，请大家讨论。

2.2.6 学术组织问题

我们这个会是学术讨论会，学术讨论总要搞个学术组织。关于这个问题，我在“关于思维科学”这篇文章里面最后讲了一段话，我的意思是，思维科学要搞些什么组织活动呢？一是成立研究所，二是在大学里设置专业，三是成立学术组织。

目前，研究所好像全国已经有一个了，就是山西省社会科学院成立了思维科学研究所，所长是张光鉴同志。学校设什么专业呢？我也不太清楚。关于学术组织，据我所知，现在地区性的学术组织已有了，山西省有一个“自然辩证法研究会思维科学专业组”，黑龙江省建立了思维科学研究会。

1. 队伍问题

这样看来，一个迫切需要考虑的问题，是成立全国性的思维科学学术组织。过去我们搞过系统工程学会。与系统工程相比，今天思维科学情况有点不一样。

1979 年，国防科委支持召开全国系统工程学术讨论会时，系统工程只有任务，没有什么队伍，搞系统工程的人不多。但是，今天思维科学不一样，在座的都是专家，我们这个队伍可以说是很大的。比如，科技情报工作，光是国防口就有 10 多万人，而且他们已经有了一个中国科技情报学会。再如文艺理论，那跟我们的形象思维有关系，也有一支队伍，人数我不清楚。另外，全国总有好几百所师范专科、师范学院、师范大学吧，这些学校里都有一些搞文学、美学的人，人数恐怕也有好几千吧，他们也都是跟思维科学有关系的。再有一个是信息、编码、译码的队伍，他们在国防部门，也有相当大的力量。还有语言学家、科学语言学家、心理学家、脑科学家，还有人工智能、机器人以及创造学、智力工程等等方面的人才和组织。

这么一想，能够参加我们思维科学学术组织的人多极了。而且我们要看到，这一些同志早就在他们各自的领域做了很多工作，差不多也都有他们自己的学术组织。而我们是后来者，好像是小弟弟，他们是老大哥。现在这个小弟弟说，要把老大哥们联合起来，形成一个思维科学研究集体，这会不会有点困难？但是联合很有必要。这个工作怎么做？我想来想去，好像只有一个办法，就是我们来宣传思维科学的体系结构。让大家都明白，联合起来，组成一个体系，我们各自的工作可以做得更快、更好、更有成效。

2. 调查情况的工作

据我的经验，这跟系统工程不一样。系统工程是从无到有，从小到大。我们这个队伍本来已经很大了，但是没有联合起来形成一个体系。现在我们来呼吁，要形成一个体系，是要做说服工作的。

因此，我建议，如果我们这次会议要成立一个筹备全国性学术组织的小组的话，这个筹备组要做以下调查研究工作：

第一，要调查跟我们思维科学有关的，已经有哪些学术团体，这些学术团体的情况如何，将来要参加我们这个思维科学学术团体，他们怎么安排？他们做出什么样的贡献？调查以后，要写出正式报告，将来开成立大会时发给大家。

第二项调查是专业教学方面。就是在我们国家大专院校里，与思维科学有关的有一些什么系，什么专业，开什么课程？思维科学方面有没有研究生？这些材料都要具体化，具体到哪个学校、什么系、什么专业、什么课、负责的教师是谁等等。最后，也要写出报告。

第三项调查工作，就是有哪一些刊物在发表关于思维科学的文章。现在我知道的有上海的《自然杂志》、四川的《大自然探索》、黑龙江的《求是学刊》和《思维科学信息》、山西的《思维科学研究通讯》；还有《潜科学》、湖南科技出版社的《科学探索》和《自然信息》、湖南大学的《人工智能研究》等等。我列举

的这些刊名仅是我接触到的，是不全的。对这个情况我们也要心中有数，所以，也要做一番调查工作，写出报告，将来在学会成立大会上印发。

大家也可以想一想，还有什么问题需要调查。这是我们成立学术组织的基础，调查清楚这些情况，也是筹备组的任务之一。

3. 要有良好的学风

关于学术组织本身的问题，我也说不出什么成熟的意见。我希望，如果按照系统工程学会的程序，从前是国防科委，现在是国防科工委支持一下，先开一个这样的全国性学术讨论会，把大家请来，见见面，交流一下之后，酝酿成立一个筹备组。经过一年的工作，在 1985 年能不能考虑成立学会？这次会议我们只能够酝酿，考虑搞一个筹备组。

从前我在《自然杂志》那篇“关于思维科学”的文章里呼吁，这个学会的核心成员应该是真正能干的，三四十岁或者再稍大一点，像我这个岁数不行。我的道理是，这个班子要干到 21 世纪，我们这些老同志是不行的。如果一时中青年不好找，老的还得使点劲的话，可以当顾问嘛，主要的工作还是要请中青年同志来做。

我们这个学会要有很好的学风，我们要严肃认真地搞学会工作，不能随随便便，更不能有江湖习气。搞学术，态度就是要认真、严肃。当然，严肃并不等于说不活泼。我们要诚恳地交流，有活泼的气氛，有话就说。我想，在我们思维科学这个新的领域里，没有什么权威，所以，我们决不能搞一言堂。大家充分发表意见，互相交流，争吵一下也没有关系。暂时统一不了认识，不要紧，慢慢来。总之，我们既要严肃认真，又要生动活泼，充分发扬民主，百家争鸣，百花齐放。只要坚持这样去做，我们这个学术组织就可以搞好。

我觉得，一旦我们把思维科学宣扬出去，它就会变成热门。因为现在讲什么新技术革命对策呀，“信息社会”呀，都与思维科学有关嘛！但是我们也要冷静。那么，怎样冷静？我们有一个有利的条件，就是有马克思主义哲学，这是最锐利的武器，我们一定要注意应用马克思主义哲学。前面我讲到的国外一些著名科学家的明显错误，都是由于犯了背离马克思主义哲学、脱离辩证唯物主义的毛病。思维科学不像有些学问（比如说机械工程），那尽是物质的，而思维科学常常涉及精神问题，涉及精神与物质的关系问题。因此在这个问题上，一定要用马克思主义哲学，辩证唯物主义。要不然，你就容易掉进两个坑里，一个坑是机械唯物论，另一个是唯心论。所以，我们一定要在工作中自觉应用马克思主义哲学。

学术组织成立以后，总得有个挂靠单位。大家可以考虑考虑，怎么挂靠法？

现在是地区性的组织成立得比全国性组织早，那么，将来全国性组织成立后，跟地区性组织怎么取得联系，怎么协调，也是一个问题，也要研究。这些都

是筹备小组的任务。

形象（直感）思维是我们思维科学现在要突破的，而且，由于智能机的研制工作已经提到日程上来，对突破形象思维也是一个压力。多少年来，这个问题一直是隐隐约约的。中国古话讲，只能意会，不能言传，能言传的都是讲得清楚的问题，而形象（直感）思维现在没法讲清楚。如果将来我们说能讲清楚了，哪怕只讲清楚了一点儿，也不是小事，我想那将是人类历史上又一次科学革命。所以我说，思维科学的研究将孕育一场新的科学革命。另一方面，思维科学的研究又会推动智能机的发展，把人的知识、智力提高到前所未有的高度，这肯定又将是一场技术革命。

选自钱学森主编《关于思维科学》第 123～165 页，
上海人民出版社 1986 年版。

2.3　关于思维科学的研究[①]

首先要说一下什么叫思维科学。思维科学怎么翻译，在英语中说法众多而不一，我们来个直截了当的：思维科学就是人的思维的科学，翻成英语叫 notice science。思维科学是真正的科学。最近上海要成立一个潜科学的学会，叫上海潜科学学会。上海成立不成立潜科学学会，我不置可否，但是他们想在上海潜科学学会下面成立一个分会叫思维科学分会，华东师大心理系的胡寄南教授来问我，我今天刚给他回了一封信，我说我不赞成，我认为思维科学不是潜科学。大家知道这个“潜”字吧，是潜在的“潜”。我说思维科学是“显科学”，是很实在的科学，不是什么潜在的科学，所以我给胡寄南教授写信，说不宜在上海潜科学学会下，再设一个思维科学分会，因为这不是一回事。

2.3.1

思维科学是一个现实的科学，是显科学。为什么这样说呢？这就要从背景讲起了，这个背景就是人类社会的发展史。我们用历史唯物主义的观点来看，社会的发展是由生产力的发展引起的，它要有几个飞跃性的变化，而这种变化我们称之为社会革命。生产力发展的一个重要原因是人们对客观世界认识的进步，这叫科学革命。这个词不是我发明的，这是美国的科学史专家库恩（Kuhn）提出的。他从 30 年代就开始研究科学的发展。他提出科学革命是人对客观世界认识的飞跃，像牛顿力学、相对论、量子力学等。库恩写了一本书，叫 *The Structure of Scientific Revolution*，这本书我不完全同意，因为到后来就有点唯心主义的东

① 这是钱学森 1987 年 2 月 28 日在北京思维科学研讨班第一次会议上的发言。

西了。人认识了客观世界，就要改造它，改造客观世界的技术的飞跃发展就是我们现在很流行的一个词叫“技术革命”，所以生产力的发展是由科学革命和技术革命引起的。生产力的发展当然要引起社会结构的变化，这又分为三方面。科学革命、技术革命直接引起社会的飞跃发展，这就是产业革命。产业革命必定有相应的政治制度、政治体制的变化，这是政治革命，有了这些变化，人的意识形态也要变化，这就是真正的文化革命，不是“文化大革命”，是真正的文化革命。产业革命、政治革命、文化革命，这都是社会的变革，是社会革命，从这样的角度看问题，可以看得比较清楚。从前说到产业革命，似乎只有18世纪英国发生的那场革命才是产业革命，我认为这样看不全面。什么叫产业革命？就是生产力的发展产生了经济结构的飞跃变化。

从这个角度看，产业革命就不只英国在18世纪的那一次了。在人类历史上，大约10000年前，人放弃了采集、打猎，有了农业、畜牧业，这对人来说是很大的变化，这应是人类历史上的第一次产业革命。到奴隶社会后期又有一次很大的变化，就是商品的出现。按现在的话说就是出现商品经济，这是第二次产业革命，发生在大约3000年前。前面说的18世纪的产业革命是第三次产业革命了。到19世纪末20世纪初，出现了又一次变化即生产的横向规模扩大了，甚至到了国际的规模，这个我说是第四次产业革命。列宁写了一本讲帝国主义的书，主要说帝国主义在资本主义国家所引起的那些反动的一面，压迫、殖民地等。列宁那时是为了革命事业，所以主要说帝国主义反动的一面，他没工夫去研究第四次产业革命在提高生产效益方面的问题。好了，那些国家在19世纪末，20世纪初已经是第四次产业革命了，而我们因长期处在封建社会，落后了。在明末，我们就有了资本主义萌芽，但没有发展起来，所以我们真正的现代工业，即第三次产业革命，我看是一直推迟到新中国成立以后才发生的。20世纪50年代初，我回到祖国后，看看第一、第二个五年计划建起的工厂，觉得不可理解，怎么这些工厂螺丝、螺帽都是自己做的。国外可不是这样的，标准件都由专门公司提供。美国的汽车公司连发动机都不是自己做的，而是另一个公司做的。那时我觉得很怪，实际上我们那是18世纪末的生产方式。所以说我们建国初建的那些工厂是很落后的，因为我国是从一个半封建、半殖民地社会开始发展的，得一步一步走，所以第一步我们国家实现了第三次产业革命。现在这个差距问题更大了，世界上先进国家的第四次产业革命已经在19世纪末、20世纪初完成了，他们现在说的所谓信息社会等等是什么呢？实际上是又一次产业革命，所以我把它叫第五次产业革命。这样我们国家就必须赶上，我们的改革就是为了在2000年前后赶上去，第四次、第五次产业革命一起干，或者叫一气呵成！现在经济体制改革中的一些好事，实际上是第四次产业革命在中国的补课，这样一发展，对信息的要求就会迅速逼上来，改革、开放、搞活都会逼上来。但有一句话非常重要，这个改革在

我们中国决不能离开社会主义制度，所以要坚持四项基本原则。

在我们的科学技术方面要跟上以上所说的形势，就是说我们要在这短短20年时间实现第四、第五次产业革命。这个问题里的核心与我们有关的就是信息技术。我占用大家的时间来说了这么些，就是要说明我们搞的这个“思维科学”在社会主义建设中的位置。我认为我们不把“思维科学”的工作做好，要高速度赶上世界水平，在20年左右的时间内完成第四、第五次产业革命是妄想，是做不到的。

下面我想详细谈谈信息技术跟工作的关系。信息技术没有计算机是不行的，但现在的计算机，可以说是最笨的机器了，你让它干什么，它只能干什么，所以信息技术不能满足于现在的电子计算机。假设我们做个机器真能像人脑一样思考问题，又有很强的计算能力，可以想象世界的变化。1984年我们开了一个全国的思维科学讨论会，提出了思维科学研究的重要性。因为现在的计算机是没有智能的，所以如果能让机器有点智能，那可是件了不起的事。也正因为如此，搞人工智能、智能机、专家系统成了全世界的热门。

2.3.2

人工智能在全世界热门，在美国尤其热门，因为那里有钱，有所谓“星球大战”计划的需要。但我觉得有点乱套。前年美国开了个人工智能年会，人家说笑话了，说那个会人倒不少，参加的人有3000名之多，论文却只有30篇。这在学术会议上是从未听说过的。别的会假设有3000人参加，至少有300篇论文，甚至更多，到3000篇。我看这是缺乏理论的原因。现在世界上竟有人说不要理论，干就行了。哪有那样的事！要我说是起码的常识都没有。我们的常识是马克思主义哲学，理论联系实际，实际要理论指导，这是个辩证关系。那种说搞人工智能、智能机不要理论的人是荒谬的。我这个人多活了几年，说到这事就想起一个很好的例子：30年代我刚搞航空时，那时航空在国际上也是刚开始，也没有什么理论可谈。我在国内拜了个老师叫王助先生，是中国搞飞机设计的老前辈。他教我飞机设计时，只有统计，他的大厚本子里记着各式各样飞机的部件大小、比例等，设计什么飞机套什么尺寸、比例。为什么？可说不清。这种情况很快就变化了，因为有大量的不同的飞机要设计，而按那种方法搞下去却行不通了。就这样，应用力学在30年代迅速发展起来了。这里航空的需要促进了应用力学的发展，而有了应用力学的指导，航空业发展得更快了，到五六十年代就进入空间了，产生了火箭、导弹。这个例子说明技术没有理论的指导是不行的，而理论的发展又要靠工程技术实践提出要求，提供素材。我们要发展信息技术，情况也是这样。没有信息技术我们到21世纪是无以立国的。而要发展这个技术，我们必须有理论，这就是我们的工作，人工智能、智能机的理论就是我们要研究的东

西。这个理论的重要性是十分明显的，它是我们进行社会主义建设非办不可的事，非同小可的。这是我要说的第一个问题。

第二个问题是，要建立人工智能、智能机、专家系统的理论，怎么建？在1984年那次会议上我们就议论了这个问题，请教了一些专家。一个搞脑科学的同志告诉我们，你要完全从脑科学出发，恐怕还为时过早，因为人的脑子太复杂了。不久前，在系统学讨论班上，我们请了中国科学院自动化研究所的黄秉宪同志讲脑的模拟，我听了觉得，早期的工作还真有点想模拟人脑，后来就越来越觉得做不到，转而想做个机器，具有部分脑功能的机器，而不是模拟人脑的，不是搞神经元，因为那做不到。当然这并不是说脑科学不重要，我们希望脑科学家们在不久的将来有所突破，但我们也觉得他们的工作很难，只给他们施加压力是不行的。从1984年后这三年看，我们在那个会上讨论的结果还成立，即从人脑结构开始发展我们的理论是行不通的，那太难了。我们希望脑科学发展快点，但不得不说我们不能靠他们。那怎么办？我们还有一条路，就是思维科学的基础科学，思维学的路，也就是从宏观而不从微观，不从脑神经细胞做起。思维学就是要从宏观开始找人的思维的规律，研究这个规律。这个规律你怎么验证？不能爱怎么说就怎么说，你必须按这个规律做出机器，如果这机器果然有人的思维的功能，你就对了。上海人民出版社出了本书叫《关于思维科学》，大家可以看看，这是我们1984年那个会的结果，说发展思维科学，要同人工智能、智能机的工作结合起来。在人工智能工作中就是那些蛮干的，我也对他表示尊敬。现在搞人工智能、专家系统的人，多半是蛮干的。蛮干也好嘛，你干出什么，都可以供我研究、参考、分析。现在的专家系统恐怕有上万个了，把它们收集起来加以研究、分析，总结经验，会有收获的。

2.3.3

但思维科学是不是还有另外泉源，这几年来我一直在想这个问题，也常去请教我国逻辑、数学逻辑的老前辈胡世华同志，他讲的对我很有启发。我没有搞过逻辑，也不太懂，只大致认识到几点：我认为思维学实际上是从哲学演化来的。大家都知道所有自然科学都是从哲学演化出来的，开始叫自然哲学，慢慢从哲学中脱离开。思维学也是从哲学中脱离出来的，就像古希腊的逻辑学是哲学的一部分，我们的思维学实际上是从古代哲学演化、脱离出来的。

上星期日，我又找胡世华教授，他说搞思维科学你要当心，有人要批你唯心主义的，你研究什么思维嘛，不是物质了，这不是唯心主义了？我说好办，什么是唯物主义，要靠实践的检验，思维学是否科学，就看做出来的东西是否具有人的思维功能。如果有，实践检验正确，这就不是唯心主义的。当然说到底人的思维并非虚无神秘。我们的脑科学家说了，人的思维是脑神经系统物质运动的高层

次表现，人脑的规律也是物质运动的规律，只是因为直接从物质运动开始太困难，使我们不得不跳出这一阶段，直接找人的思维规律。最后还是回到物质运动，所以不是唯心主义。再一点就是我们以前搞电子计算机时就已经犯了错误，对数理逻辑不够重视。我们花了很大力气，付出劳动，总有结果，但从现在来看，有点蛮干，即没有理论指导，付出了不少代价。也是胡世华教授告诉我的，有个世界著名的软件专家叫 Dijkstra，他说了一段心里话："我现在年纪大了，搞了这么多年软件，错误不知犯了多少，现在觉悟了。我想，假设我早年要是在数学逻辑上好好的下点工夫的话，我就不会犯这么多的错误。不少东西逻辑学家早就说了，可我不知道。要是我能年轻 20 岁的话就要回去学逻辑。"我看这是经验之谈，说明搞技术没有理论指导是不行的，而我们研究思维科学要从哲学的逻辑学吸取营养。

现在我们国家搞人工智能、智能机、专家系统的情况也不能令人满意，理论基础很差。前阵出了本书，林邦谨的《制约逻辑》，后来不是说是搞乱了吗？报纸也跟着瞎吹，吹翻了天。胡世华跟我说："我看那林邦谨还不错呢，还有比他更胡来的！"这样的情况可不行，要大声疾呼。需在 20 年左右赶上去，胡来怎么行！解决这个问题是我们这个讨论班要做的，我们要把中国的人工智能、智能机、专家系统的理论建立起来。这个混乱局面要结束，我觉得可能性是存在的。胡世华教授跟我说，现在就像 Dijkstra 所说的。刚才说的林邦谨可能也是如此吧，记者则是完全不知道的。所以要把已取得的成就，即哲学逻辑掌握住，像英国的 Whitehead 的工作。要知道人家在干什么，干到什么程度，能解决什么问题，关于胡世华同志的看法，他在前年的数学学会成立 50 周年纪念会上有篇论文就要印出来了，叫《信息处理时代的数学》，他的看法强调现在我们缺乏的是理论。我们不在这样源远流长的基础上工作，自己瞎创造哪行！

再一方面，经汪培庄教授他们的努力，模糊数学的文章也不少了，1987 年第一期的《大自然探索》有四篇是介绍模糊数学的。还有中国科协办的《现代化》杂志 1987 年第一期也有一篇，叫《软科学、模糊数学与决策科学》。这样的文章是很多的，我们应当收集起来分析研究。我跟汪培庄教授谈过，跟戴汝为同志也讨论过，我觉得从思维科学的观点上看，是从模糊到清楚，要着重在这个过程上。我也说带讽刺的话，有人提出模糊思维，我说那是思维的模糊，你糊涂到底，那叫什么思维，思维最后是要清晰才行嘛！

关于思维学的问题我考虑过，1984 年又向大家学习了，经过三年来的思考，才有刚才这些认识。

我说了这么多，要说的就是这几点，即我们的思维学所面临的任务是关系到我们国家的大事，不是所谓的纯理论探讨。我们是探讨理论，但又与国家的社会主义建设紧密相关。前面说了，如果到了 21 世纪，我们还是这样糊涂，那可真

要无以立国了，所以这真是件面向世界、面向四化、面向未来的大事。我觉得我们中国人搞这个是有点优势的。问题是很难，但我们要有勇气。首先我们中国人不笨，美国的大学教授，系主任不是说有三分之一是华裔吗！中国人是行的，不要泄气。再一个是我们研究的是涉及精神与物质的问题，如果能运用一点辩证唯物主义思想，那可以说多了一件锐利武器，而这件锐利武器常常是资本主义国家的科学家难以掌握的。你有这两个优势，还不能打胜仗吗？所以我觉得不管问题有多难，我们都要有信心把它拿下来。今天就算开始了。我说了这么多，就是想给大家鼓鼓劲。

原载《现代化》1987 年第 5 期，原题为“思维科学”，
选自《思维科学》1987 年第 3 期。

2.4 在北京地区第四次思维科学研讨会上的讲话[①]

刚才胡世华同志的讲话，不知道大家听了以后的感受怎么样，我是觉得挺开脑筋的。在科学史上，从莱布尼兹开始，数学和思维科学一直有密切的关系。我们这个讨论班，是思维科学讨论班。听了胡世华同志的报告后，大家是不是有这个感受，即我们对逻辑恐怕得下点工夫了。研究思维科学中的基础科学——思维学，对于胡世华同志刚才所讲的大的逻辑概念里面的学问，不下点苦工夫，恐怕是不行的。上次（北京思维科学第一次研讨会）我在这儿讲得可能不太清楚，后来反复修改记录稿，想把这个概念讲清楚。修改的那个稿子，准备在科协出版的《现代化》刊物上登出来（见《现代化》1987 年第 5 期 4、5、7 页），今天我预告一下。说得清楚一点，思维科学是很大范围的一门学问，思维学是思维科学的基础科学。原来我强调的，是从实践提高，实践是计算机技术、人工智能的发展，特别是人工智能、智能机。从这个发展出发，在理论上提高，上升到思维学。目前有很多议论，其中一个方面是脑科学。因为思维的物质基础是人的大脑，所以也有一批搞脑科学的人说，不要忽视脑科学。研究人的大脑，我们在 1984 年 8 月初的会上反复议论后，觉得道理上是讲得通的，但实际做起来差得太远。现在研究脑科学的人很努力，最近看到一篇文章，讲人的高级思维集中在额叶，而不是从前说的左半叶、右半叶那些观点。目前无非做到这么个程度。至于说思维过程要从脑科学来解决，差远了。我们在 1984 年 8 月就觉得是这样的，经过三年了，到目前还是这样，结论没有改。我曾得益于胡世华同志给我讲的一些事，不知我这个学生当得好不好，即上次想说的，可能没说清楚，就是思维学

---

① 这是钱学森 1987 年 5 月 16 日在北京大学电教楼召开的北京地区思维科学讨论班上胡世华同志报告后的发言。

的另外一个方面，是关于逻辑。胡世华同志说，对于逻辑，别狭义理解，逻辑即哲学、数学，是用来研究人的思维的。那好了，这些成果都应该学习。所以，这是上次讲的两个方面：一个方面，是从计算机技术、人工智能、智能机这个方面；还有一个方面，是从哲学的逻辑这方面，这些成果我们都要吸取。

上次讲后，我还在思考这个问题。最近又想了些事，今天就给大家讲讲我最近的思考，就是思维与语言的关系，这是古老的问题了。到底是语言在先？还是思维在先？各种说法都有。说思维在先也很有道理，根本没有思维，怎么个语言法？话怎么说？也有的人不完全同意这一点，说思维总要用语言来表达，要是没有语言，怎么表达思维？所以语言很重要。我看别吵吧，就像先有鸡还是先有蛋，实际上是辩证的。思维产生了语言，语言的发展又促进思维，是否是这样的关系？不管是哪种观点，总而言之，我们要研究思维学，那么对语言恐怕也得下点工夫。刚才胡世华同志对我们讲了形象思维，我就想到，形象思维用什么语言的问题。因为我们的语言大概都是针对抽象或逻辑思维的。譬如说，从 30 年代开始，乔姆斯基等人搞的什么语言结构，什么语义学等，戴汝为同志是专家，他研究这个。其实那些东西研究来研究去，都是抽象或者逻辑思维，它那些结构啊，语义啊，都属这类东西。那种语言学，就是我们平常说话的语言，这种语言实际上代表了抽象或逻辑思维。形象思维在数学里也有，刚才胡世华同志讲了。但这个东西，它的规律恐怕并没有找出来。几个月前，我听了中国科学院系统科学研究所田丰讲的图论。图论并不统一，分好多小块，一小块一小块的。一块里可以形成一个体系，但整个图论的理论是捏不到一起的。讲完后，我问他，是不是有这么个问题，即图论总是和几何有关，和形象有关，而这些形象的东西现在还没有法子把它用语言表达的办法捏在一起，所以那个图论理论也就是一小块一小块的。一小块怎么建立的呢？很简单，每一小块里有个形象的原则，你把它固定下来就成了，以后有发展的就是抽象的逻辑思维。而这一小块里面形象的部分，与另小块形象部分的关系建立不起来，因为没有严格的形象思维学。我突然提出这个问题，他没有思想准备，所以就不了了之，放在那儿了。

我在 1984 年初的讲话很长，讲到四川有个同志叫叶峻，他提出特异思维，但到底有没有这种思维？还要研究，我不能下结论。叶峻提的特异思维，指的是一些特异功能人的思维活动，即外国人所谓 ESP。现在我想说的是灵感思维，是不是也放到这里面去？诸位有否灵感过一下子？从前我在做研究工作的时候，有过这个感受，即一个课题，醒着的时候怎么样也琢磨不出来，尽碰钉子，毫无办法。但有时在睡觉时，或半醒半睡时，一下子解决方法就来了，赶快爬起来试验一下，灵，那难题就解决了。我想，这就叫灵感（inspiration）。这不是科学里面的 insight，我认为 insight 是一种形象思维，即使是创造性的思维，那还是不一样的，那还是比较容易的。例如研究生跟随好的导师工作，先不会，慢慢学

会看问题，一下子抓住要害，这个叫 insight。抓住要害，还要证明它对不对。胡世华同志讲，科学里主要是逻辑思维，而 insight，就是胡世华同志刚说的科学思维里的形象思维，这与灵感是不一样的。灵感没法说，问我为什么做梦想到了，一点也说不出来。因此，我想灵感要归纳到特异思维里去。我说人的思维分类还是三大块，从个人看（不管人跟人的互相影响，即从前我提的社会思维学，那是另一回事），人的个人思维三大块，一块是抽象或逻辑思维，还有一块是形象或直感思维（insight），还有一块是特异思维，这个特异思维包括从前说的灵感，也包括特异功能人的思维过程。

这三块之中，我觉得头一块是抽象逻辑思维，包括我们现在研究的语言学，结合着抽象和逻辑思维的语言学。第二块是形象与直感思维。胡世华同志刚才讲，它也有自己的语言。这语言不是平时说事说理的语言，它是文学艺术的语言，特别是中国诗词的语言。诗词的语言不是逻辑，它说树说天，读后使人感受的东西不光是树和天，不是逻辑，文学作品的好坏不是句子表面上的东西，是另外一些东西。所以我想我们要研究形象直感思维，恐怕要回过头去，对文学文艺诗词要下点工夫。我编了一本《关于思维科学》，由上海人民出版社去年出版，其中收了一篇李泽厚的文章——漫述庄禅，谈“悟”，禅和悟，觉悟的悟，大家要是去看看，那就不是逻辑思维，不是抽象思维，而是形象思维，它说的是东面，而意思在西面；也或许不在西面，而在北面，在上面，反正让你有这个感受。这不是逻辑思维，这恐怕与文学诗词里面的形象思维直感思维有关系。刚才我对戴汝为同志说了这个问题，我还有个旁证，即创造性很丰富的伟大科学家，往往在文学艺术上也有很深的修养，他在科学上的创造也得益于文艺的修养。

研究形象直感思维，我最早说的一个途径是计算机、人工智能和智能机；上次讲，还有一点办法，即从逻辑去研究，为此，今天特请胡世华同志讲来启发我们。现在想研究形象直感思维，再找个来源，那就是文艺诗词，这还是形象与直感思维。

所以，思维学、抽象逻辑思维最有办法，形象直感思维不是没有办法，有一点办法，但现在起步还不大。至于说特异思维，现在没办法，只知道存在，不知道怎么回事。

我从上次讲话到现在，又琢磨了琢磨，大概有这么几点。不知道以后是不是又要推翻，但研究学问就要不断探索。

我们一起来探索吧！

选自赵光武主编：《思维科学研究》Ⅰ～Ⅴ页，
中国人民大学出版社 1999 年 8 月第 1 版。

2.5　《思维的系统观——思维系统》(摘要)①

1. 思维的系统性[52]

一般逻辑研究认为，抽象思维的推理过程由微观单元过程所组成，它体现为一步一步推理的规律。这种微观单元过程视为经典的一阶逻辑。由一阶逻辑的许多单元过程组成一阶思维系统。在这个系统中，可以是或多或少的单元过程，它包括了由之而构成的多个步骤。因此，不少一阶思维系统其复杂程度可能非常之高。数学研究的历史上，也不乏人力难以穷尽的一阶思维系统。所以说，人们对于思维系统性的认识是由来已久的。

近年来逻辑学对微观单元过程的研究不断发展。经典一阶逻辑不断拓宽，出现了许许多多“非标准逻辑”。[53]这样它所构成的上一个层次的一阶思维系统更加丰富，甚至突破了抽象的逻辑思维的范畴。现代逻辑的新发展，模态逻辑距离我们更近，这进一步说明了思维系统性。[54]

2. 思维系统的阶次

一阶思维系统由于上述逻辑单元过程的深入研究而趋于完善，也就是说以逻辑思维标志的抽象一阶思维系统已经建立，那么形象（直感）思维以及其他思维，例如社会思维、创造思维等，加深进入了我们的研究领域。实际需要解决问题的复杂性不断增加，体现为科技与人文相互融合，社会发展的和谐要求日益迫切。这些问题已不能单靠一阶思维系统所能解决了。研究实践当中正、反两面经验告诉我们：即便是比较简单的课题，单靠一种一阶思维系统，如抽象思维是不够的，至少要用形象（直觉）思维与抽象思维的结合。所以解决一个课题的思维，是更高层次的，是二阶思维系统，二阶思维系统是开放的系统。已经是二阶系统了，所以也不会是简单的系统，而是开放的大系统。如果要解决问题的性质更加复杂，问题构成更加庞大，问题之间相互关联，实际就是对巨大问题，涉及人文科技相结合的社会问题的决策研究了。至于决策工作，要解决的、要作出回答的问题更不是单一的课题，而是课题群，有相互关联的课题群。参与问题研究的也不是一个人、两个人，而是一个专家集体，有几十甚至更多的人。这里社会思维的集体作用就非常重要了。这种思维过程必然非常复杂，其规模比思维大系统还要大，用系统科学术语来说，就是思维巨系统，也就是更高阶次的思维系统。

---

① 该短文没有公开发表，这里是从戴汝为的著作中选出的摘要。

3. 思维的系统观

以逻辑单元思维过程为微观基础，逐步构成单一思维类型的一阶思维系统；解决课题的二阶思维开放大系统；然后是决策咨询高阶思维开放巨系统。这就是思维的系统观，是系统科学方法在思维科学中的应用。

思维的系统观自然联系到思维的社会性，所以研究的视角会聚在社会思维上来。

选自戴汝为著《社会智能科学》第 13～14 页，
上海交通大学出版社 2007 年 1 月第 1 版。

参考文献与注释

[1] 钱学森. 自然辩证法、思维科学和人的潜力. 哲学研究，1980，(4)：47；钱学森 . 系统科学、思维科学与人体科学. 自然杂志，1981，(4)：3.
[2] 钱学森. 现代科学的结构——再论科学技术体系学. 哲学研究，1982，(3)：19.
[3] 钱学森. 论技术科学. 科学通报，1957，(4)：97.
[4] 钱学森. 马克思主义哲学的结构和中医理论的现代化阐述：大自然探索，1983，(3)：3.
[5] Sperry 已于 1994 年 4 月 17 日去世，享年 80 岁.
[6] Sperry R. Neuroscience，1980，5：195.
[7] Chtrry E C. PIEE，1951，3：383；长江日报，1982-02-23 开始的《信息与现代化笔谈》专栏.
[8] Sparkes J. New Scientist，1983，95：97.
[9] Tai J W，Fu K S. International Journal of Computer and Information Sciences，1982，11 (1)：1.
[10] Wilson I. Mind out of time. Gollane，1981，1.
[11] 黄耀煌. 近两年我国情报概念争鸣的剖析. 情报学刊，1983，(1)：23
[12] 爱因斯坦文集 (1). 北京：商务印书馆，1976：309.
[13] Minsky M. New Scientist，1981，89：605.
[14] 钱学森. 关于新技术革命的若干基本认识问题。理论月刊，1984，(5)：6-11.
[15] 洪加威. 信息、计算、社会信息化及其他. 红旗，1984，(14)：31-35.
[16] 钱学森. 马克思主义哲学的结构和中医理论的现代阐述. 大自然探索，1983，(3)：1-5.
[17] 王炳照. 古代书院的“讲会”. 光明日报，1983，(8)：26.
[18] 朱长超. 试论用比较法研究意识起源的过程. 自然辩证法通讯，1984，(1)：13-20.
[19] 李燕强. 皮亚杰认识论若干问题. 哲学研究，1983，(12)：36-41.
[20] 李庆臻、胡孚琛. 我国的科技人才群落和人才流动. 科学学与科学技术管理，1984，(7)：6-9.
[21] Hughes R I H. Qunntum Logic. Scicntific American，1981，10：146-147.
[22] 王元元. 从“S 先生与 P 先生谜题”谈起——模态逻辑简介. 自然杂志，1984，(6)：446-450.
[23] 何新. 论进化分类学的辩证概念关系. 自然辩证法通讯，1981，(4)：24-31.
[24] 钱学森. 技术科学中的方法论问题. 自然辩证法通讯，1957，(1)：1.
[25] 张光鉴. 相似论. 农村发展探索，1984，(3)：118-150.
[26] 陶伯华. 试问类比推理的逻辑结构与认识功能 . 求是月刊，1984，(3)：29-36.
[27] 王南. 论形象思维的普遍性 . 求是月刊，1984，(2)：15-24.

[28] 胡寄南. 认知心理学的理论和应用. 自然杂志，1985，(3).
[29] Chen L. Topological structure in visual perception. Science，1982，1 (218)：699-700.
[30] Timothy A. Salthouse：The skill of typing. Scientific American，1984，2：94-99.
[31] Morton Schatzman. Sleeping on problems really can solve them. New Scientist，1983，1 (79)：416-417.
[32] John Cohen. What makes a calculating prodigy. New Scientist，1983，1 (100)：819.
[33] 刘奎林. 灵感思维与科学发现. 求是月刊，1983，(4)：1-11.
[34] Multiple personality not all in mind. New Scientist，1983，98：290.
[35] Hilary Roberts. Grow your own personalities. New Scientist，1984，1 (101)：12.
[36] 胡建平. 灵感也是人类的一种基本思维活动方式吗. 求是月刊，1984，(4)：7-15.
[37] 钱学森. 科技情报工作的科学技术. 科技情报工作，1983，(10)：1-9.
[38] 胡孚琛. 广义信息论导引. 大自然探索，1984，(3)：131-140.
[39] 钱学森. 系统思想、系统科学和系统论——系统理论中的科学方法与哲学问题. 北京：清华大学出版社，1984：4-29.
[40] 曹利风. 思维科学初探. 自然信息，1983，(3)：51-53.
[41] Basar E，Flor H，Haken H，et al. Synergetics of the Brain. New York：Springer，1983.
[42] Piaget J，Fraisse P，Renchlin M. Experimental Psychology-History and Method. Basic Books，1968.
[43] 钱学森. 现代科学的结构——再论科学技术体系学. 哲学研究，1982，(3)：19-22.
[44] 钱学森. 我看文艺学. 艺术世界，1982，(2)：2-3.
[45] 叶俊. 思维科学研究简讯，1984，(2)：14-57.
[46] Crook J H. The Evolution of Human Consciousness. Oxford，1980.
[47] Targ R，Harary K. The Mind Race. Villard Books，1984.
[48] Gliedman J，Mind and matter. Science Digest，1983，3：68.
[49] Bohm D. Wholeness and Lmplicate Order. Boston：Routledge and Kegan Paul，1980.
[50] 钱学森. 关于“第五代计算机”的问题. 自然杂志，1985，(1)：3.
[51] 马希文. 什么是理论计算机科学自然杂志，1984，(6)：409-413.
[52] 钱学森与戴汝为通信，1988 年 1 月 1 日. 见：钱学森书信 (4). 北京：国防工业出版社，2007：110-111.
[53] 钱学森与戴汝为通信，1988 年 1 月 23 日. 见：钱学森书信 (4). 北京：国防工业出版社，2007：128-129.
[54] 钱学与戴汝为通信，1989 年 8 月 24 日. 见：钱学森书信 (5). 北京：国防工业出版社，2007：23-26.

第三章　论从定性到定量综合集成法

3.1　从定性设想到科学推理①

从前人认识客观世界的一个普遍方法，即所谓的科学推理方法，它在科学发展史上曾起过很大作用。但后来人们发现，单靠科学推理也不行。爱因斯坦就很明确地提出，人要认识客观世界，发现科学的新道理，绝不是一个简单的推理过程能够办到的。当大量事实摆在你面前时，你若不认识它，那是一点办法也没有的，你的推理从何做起？所以，他就提出，通过实践认识到的许多事实，在人的大脑里经过加工，要有一个飞跃，这是一个关键。通过这个飞跃要形成一个设想。有了设想以后，怎么来验证设想，这就是逻辑推理问题，有点科学知识的人都会做。但是关键的那个部分，即从事实到设想，这个过程是最难的。看了爱因斯坦这段话以后，我想想自己的科学实践，体会到确实如此。当然提出一个设想不一定就是正确的，很可能是错误的。错了就应该承认，然后再琢磨为什么错，这就又会产生另一个设想，然后你再来验证。科学大师也许有那么几次反复就会对了。像我们这样的人不知道要验证多少次才会正确。关键的问题是，从这些事实的方方面面，你如何思考出一个设想，这可能要靠猜，猜是怎么回事？我在1984年就提出，要用形象直感思维来思考问题，而不是单靠逻辑思维。

前段时间在这里听一位医学临床教授李广钧讲课，李教授那天讲，中医有上千年的临床经验，这大量的临床经验，要整理出来，可叫作唯象理论吧。什么是唯象理论？从前我举过一个例子，比如说气体定律，压力乘上体积等于一个常数乘上绝对温度。但是，我想难的地方就是压力、体积和温度这三者是什么关系，通过一个什么结构、什么框架可以把它们联系起来。这种联系就是它们之间的关系。先不讲什么道理，所以是唯象理论。

我想气体定律的结构、框架还比较简单，就这么三个要素，不是加就是乘。门捷列夫的周期表恐怕就难多了，那么多元素，怎么个排法？他悟出一个二维的方法，把元素一个个往里放，放来放去最后放对了。这个二维的问题也还好办。到了医生的临床经验，就不是二维的了。我国古代的医学家，创造出阴阳五行和十二干支，这就是二乘五再乘十二，多少维啊？这么一个框架，正如李广钧所

---

① 这是1988年12月27日在系统学讨论班上的发言。

讲，这么多的临床经验基本上都可以放到这个框架上去。但是也有临床经验搁不进去，不合适的，所以他说这个框架要调整。他强调临床经验的重要性，遇到这种情况，不是临床经验不对，而是那个理论框架有问题。所以刚开始学中医的人，把书背得滚瓜烂熟，阴阳五行十二干支都背熟了，但到看病时，遇到具体的病人就不知道怎么办了，不适应了。有经验的名医，他不说太多，但他知道有的地方需要灵活一点，学生跟着他学很长时间才能掌握这个本领。我听了这一点很有启发，就是人在一大堆事实面前，怎么样形成飞跃？实际上是要去找一个合适的框架。怎么找到这个框架呢？这就要看各人的素养水平了。素养高的，水平高的，一下子就找到了。没有这个水平，不知道找多少次也找不到。我们所说的定性定量相结合的方法，就是帮助去找这个框架，而且是从传统的单个人思考问题，变成集体智慧的集中，把定性定量两者结合起来，互相促进去找这个框架，最后得出的模型正确了，也就说明你的框架正确了。这就告诉我们怎么认识定性定量相结合的方法，就是人根据经验，寻找合适的框架，然后用数学验证这个框架，把这一套过程有机地结合在一起。而且人也不限于一个人，是专家集体。这就是定性定量相结合方法的优势。我必须说，这个方法是辩证唯物主义的。我也一再强调定性定量相结合是唯一可行的方法。从哲学高度上来看，它的优越之处就在于辩证唯物主义。

选自钱学森：《创建系统学》（新世纪版），第 64～65 页，
上海交通大学出版社，2007 年 1 月第 1 版。

3.2　定性定量是一个辩证过程[①]

关于复杂巨系统问题的处理，我们提出了定性定量相结合的方法。从马克思主义哲学来理解，定性、定量这本来是辩证统一的。我们这儿说的定性与定量相结合的方法，最后是要定量的。就是说，我们在定量的认识过程中要使用大量定性的东西，目的是最后把模型建立起来。当然，假设你解决一个方面的问题，用这个方法；你解决另一个方面的问题，也用这个方法；当你定量解决了很多很多问题，譬如说关于国民经济中的许多问题以后，你有一个概括的提高的认识了，这又是从定量上升到定性了，自然，这个定性应该是更高层次的定性认识了。因此定性和定量的关系，是认识过程的一个描述，循环往复，永远如此。我们在这里研究的定性定量相结合的方法，以前我请朱照宣教授查过文献，外国叫什么 Meta-analysis。但我觉得外国人的 Meta-analysis 的毛病就是机械唯物论。我们的看法是辩证的，从定性到定量，定量又上升到更高层次的定性。所以我觉得照

① 这是 1989 年 10 月 10 日在系统学讨论班上的发言。

搬他们那个 Meta-analysis 恐怕不合适。我们的办法是“集腋成裘”嘛！就是把许多好的东西，点滴的东西综合在一起，成为一个大的结构，正确的结构。所以我想要全面描述的话，就是“定性定量相结合的综合集成法”，简称叫“综合集成”，翻成英文倒是可以借用他们那个词 Meta-synthesis，是高层次的综合。

但是我感到，从前我们搞的这一套是手工式的方法，就是先收集专家的意见，建模，计算，完了以后再请专家提意见，再来修改模型等等。这个过程都是手工业式的，就是靠人工的。后来我找了搞人工智能、思维科学的中国科学院自动化研究所的戴汝为，他说，这些东西其实就是人工智能、知识工程，现在正在搞。不久前他从美国回来，我们两人又谈了一次，更明确了。他说就是把人工智能、知识工程这套东西用到定性定量相结合的过程中。而我们收集各种知识的范围还可以扩大，除了专家意见之外，从数据库、知识库里都可以收集，这些用人工是不可能做到的，但是用计算机可以，它可以把信息库储存的东西都搜索一遍，一切有用的都把它集成起来。如果这么干，“综合集成法”就更上一层楼了。要做到这一点，那是很了不起的，人认识客观世界就发展到了一个新的阶段。我们有了这么一个方法，比老的个体单干的办法高明多了。这是真正的现代化的方法，把信息技术、计算机、人工智能和知识工程统统用上了。而且我认为，这真正是社会主义的。因为在社会主义国家，我们的目的就是为了认识客观世界，改造客观世界，最后达到为人民谋幸福。但这在资本主义国家是有困难的，因为他们的专家背后都有背景，垄断集团之间的矛盾使他不可能综合集成，这个矛盾他们解决不了。我们既然走到了这一步，那就要继续干下去。我已经问了戴汝为，他愿意来讲一次。关于人工智能、知识工程这套东西他是比较熟悉的。所以我建议下一次请他讲，并请他参加我们的工作，这样我们的方法就再上一层楼了。我看我们是在做一件大事。因为现在很多事都涉及开放的复杂巨系统这个问题。我们说社会主义建设是一项复杂的系统工程，这里面的问题就多极了。昨天，在政协开会，我又宣传了一遍，我说我学习了江泽民同志的讲话，有一条建议：就是江总书记讲了十个方面的问题，这十个方面怎么协同呢？我们有一个方法能解决这个问题，叫定性定量相结合的综合集成法——系统工程法。

其实，开放的复杂巨系统还不止这些，我们现在认识到的，比如说，人就是一个开放的复杂巨系统。所以，要解决人的健康问题，光用一种医学方法在许多情况下是不够的，要用“开放的复杂巨系统”这个概念，把中医、西医、中西医结合，统统综合起来，才能解决问题。人的思维也是这样，以前搞的思维科学，搞什么逻辑思维，形象思维，那都是一个方面的问题。人的思维是高度综合复杂的，因为人脑就是一个开放的复杂巨系统。上一次我也讲过 IBM 公司的负责人尼科尔·克莱门蒂说过一句话，他讲现在搞神经系统模拟不会有什么成就，因为人脑等于 10^{12} 个克雷（Cray）巨型计算机并联起来的功能，现在根本做不到。后

来我又看到了心理学家说他们现在可难了，因为那种老方法，就是还原论的方法走不下去了，连人做梦这个问题都解决不了……这种情况可以说是众说纷纭。为什么？就是因为对于这么复杂的问题，还原论的方法走不通。所以，人体科学、思维科学一定要用综合集成方法来解决。社会科学的问题刚才讲到经济问题时已经讲了。行为科学也是一个高度复杂的巨系统。军事科学也是这样，简单化不行，现在国际上就是一个和平演变跟反演变的斗争，这么复杂的问题，简单化行吗？总而言之，我觉得我们现在搞的这套东西是非常非常重要的，一定要干下去。我们这个讨论班应该集中在这个题目上，就是开放的复杂巨系统及其方法论上。

还有一个问题，是开放的复杂巨系统里面“混沌”跟“有序”的辩证统一关系。今年以来在美国科学促进会的会刊《科学》上，陆陆续续一共有6篇文章讲混沌，其中5篇文章对混沌是肯定的，认为有混沌出现。这5篇文章一个是讲地质，一个是讲气象，一个是讲生态，一个是讲物种的演化，一个是讲人的生理，都有混沌。只一篇文章是讲量子力学，说找不到混沌。我看这后一篇文章的观点有问题，量子力学的不确定性本身就是混沌嘛！照我的看法，量子力学是由于更下一个层次的混沌，我叫渺观的混沌，造成量子力学的不确定性。它已经是不确定性了，你怎么还说找不到混沌呢？没有这样的怪事。而我们现在研究的巨系统，非线性的因素几乎是不可避免的，巨系统又是相互作用的非线性因素，所以混沌的出现是必然的。有序是以混沌为基础的，低层次的混沌造成高层次的有序，我看这就是混沌和有序的辩证关系。

我从前是搞力学的。在力学中，比如流体，分子运动是混沌的，而更高一层次的平流又是有序的，但这个平流在速度大的时候，又出现混沌，所以是混沌——有序——混沌，这是指在不同的层次。又比如晶体是有序的，但是如果从下一个层次看，你会发现那些原子或电子是跳来跳去的，并不是不动的。所以晶体从更下一个层次看，它又是混沌的，可见有序与混沌是辩证统一的。我觉得我们这个讨论班还要讨论一下混沌与有序的辩证统一关系，这是巨系统里非常重要的一个部分。

选自钱学森：《创建系统学》（新世纪版），上海交通大学出版社，2007年1月第1版，第99～101页。

3.3　关于将知识工程引入系统学的问题[①]

戴汝为同志今天给我们讲知识工程问题，他是这方面的专家。我觉得这是一

---

① 本文是钱学森1989年11月7日在系统学讨论班上的发言。

个很有意义的报告，因为我们要研究的当然是开放的复杂巨系统或者是开放的特殊复杂巨系统，我们以前用的叫定性定量相结合的方法。这个方法的特点，就是把很多很多不同的人的定性认识综合起来，后来我们叫“从定性到定量综合集成法”[①]。那么“综合”的结果是什么？综合的最后结果要达到定量的认识。所以这个过程就是从很多很多定性的认识，经过处理变成定量的，定量跟原来的定性不在同一个水平上，是更高一个层次东西。

我又想，假设这种结果做得很多了，比如说710所他们做的关于社会经济问题，做了很多很多。那就又可以更上升一级，对中国的社会经济有一个更概括的认识，这个概括认识又是定性的了。所以这个过程很清楚，就是从低层次的定性到高一层次的定量，然后定量累计起来成了更高层次的定性。这是人认识过程的不断发展，也就是从前毛泽东同志提出的从感性认识到理性认识的循环往复发展。所以我觉得这个中心思想是合乎马克思主义哲学的。定性和定量是在不同的层次，而且是个辩证的过程，这个思想很重要：国外的学者不能领会这个意思，他们总认为定性是定性，定量是定量，是两个不相干的东西，那是不对的。大概也有人把定性和定量放在同一个锅里煮，放在一个水平上去看，这也不对，也解决不了问题。所以这就是一个定性定量的辩证法。

再有一点是我们怎样把定性定量相结合的综合集成法再推进一步。你把专家们找来了，提了许多意见，然后要综合，这个综合没有什么窍门，就是靠人的脑袋瓜，想办法把专家们的意见综合到数学模型里，利用计算机运算。算出来的结果如果不对了，无非下一次专家来了又提意见，再改吧！碰来碰去最后碰对了，就算完成了。当然这里头用了一些科学方法，建模是用了系统学的成果，计算是用计算机，不是人来算，因为你那个模型太复杂了，有几百个参数。当然那些统计数据也是用了计算机做统计工作。但是真正核心的问题，即建模过程就要靠人的智慧。这个工作以前做得不错，请的专家是多少？十几位，二十几位吧。假设这个专家还要扩大，你要广泛地征求意见，我看这个综合就难了，光是几百个专家，有千万条意见摆在那儿，怎么综合？我们国家的一个原则是民主集中制，但是实际上我看这个民主也很有限，因为太复杂了。假设所有的意见都要听的话，怎么个集中法？当然我们相信人民群众，他们最有实践的体会，所以智慧要来源于他们，这是对的。但是，这个过程不好办。人大代表、政协委员也有牢骚，提了那么多意见根本没有反应。因为你那些千头万绪的意见，怎么综合起来？恐怕人大办公厅和政协办公厅的人也没有办法。由此我就想到了一个问题，就是我们这个“定性定量相结合的综合集成法”，要真正做下去，发展下去，繁重的工作不能完全靠人来做。

① 据最近看到的录音记录，此引号中的原话为“定性跟定量相结合的综合集成方法”。

今天听戴汝为讲的这些内容，给我一个启示，觉得一条可能的出路，是让机器来做人实在累得不得了也没法做的事，即大量的事情让计算机去做，就是他说的知识工程、人工智能这些方法。但是我也要强调指出，不是把整个过程的工作全部交给机器，都交给计算机是没有希望的，还是在人的指挥下来做这个工作。为什么？这个问题我讲过多次了，我不相信计算机能完全代替人脑。所以我说，现在搞的“神经网络”是带引号的，不是真正的神经网络。至少到现在我们还看不到在可以预见的将来，有个机器可以完全代替人的脑袋瓜。其实这也不是我一个人的意见，好多国外做这方面工作的人也说老实话，认为做不到。但是戴汝为今天讲的对我们的工作是有用的，就是把知识工程、人工智能的成就引入到我们这个“定性定量相结合的综合集成法”中，使这个方法可以更大更高地发展。当然了，今天戴汝为同志也讲了，除了专家、群众的意见之外，还有知识库里的那些东西。比如说你研究经济问题，可以把所有的，无论什么样的国内、国外的专家讲的东西都可以吸取。如果我们这样认真做下去的话，就可以做到民主集中制，就是通过集中大家的意见，把人的智慧提炼出来。我从前老说国外的学术讨论讲民主，那也就是 30 到 50 人在一起讨论嘛，有限得很，还有很多你没接触到的呢？所以我觉得，今天讲的内容对我们这个方法的发展是非常重要的，甚至对社会主义建设都是非常重要的。我们党和国家有时犯错误，有失误，问题出在什么地方？一个很重要的原因就是不能全面地考虑问题。有的时候也没法做到全面，总理听了那么多意见，他也没有一套现代化的手段，怎么集中？

至于从学术上讲，实际上我们这儿研究的定性定量相结合的综合集成法，本质上它是科学和经验的结合。如果要真正达到科学化，那要在这个“法”用了多少年以后，我们又悟到了什么大道理，才能再升华出理论，现在还只是个方法而已。我们想借用的也是人工智能、知识工程，那是思维科学里的方法，一个学科借用另外一个学科的方法是很普遍的。现在研究社会科学要用自然科学的方法，我这里讲的是搞系统科学的人跟搞思维科学的人在方法论上结合一下，有好处。

最后我要讲一讲，假设这个方法发展了，有成果了，实际上是思维科学里面的社会思维学。这就是说，我们可能有了一个方法去探索集体思维、社会思维是什么。前几年我讲过，思维科学要重点抓形象思维，但无什么进展。现在看，社会思维倒可能有点希望，如果社会思维的研究有了进展，对搞形象思维也许有一些引导作用。所以我刚才说要让搞系统科学的人跟搞思维科学的人结合起来突破。定性定量相结合的综合集成法，不但在系统科学里是大事，在思维科学里也是个大事。我觉得这个问题很重要，今天把我的想法全面地说一说。

选自钱学森：《创建系统学》（新世纪版）第 102～104 页，
上海交通大学出版社 2007 年 1 月第 1 版。

3.4 一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论①

近20年来，从具体应用的系统工程开始，逐步发展成为一门新的现代科学技术大部门——系统科学，其理论和应用研究，都已取得了巨大进展[1]。特别是最近几年，在系统科学中涌现出了一个很大的新领域，这就是最先由马宾同志发起的开放的复杂巨系统的研究。开放的复杂巨系统存在于自然界、人自身以及人类社会，只不过以前人们没有能从这样的观点去认识并研究这类问题。本文的目的就是专门讨论这一类系统及其方法论。

3.4.1 系统的分类

系统科学以系统为研究对象，而系统在自然界和人类社会中是普遍存在的。如太阳系是一个系统，人体是一个系统，一个家庭是一个系统，一个工厂企业是一个系统，一个国家也是一个系统，等等。客观世界存在着各种各样的系统。为了研究上的方便，按着不同的原则可将系统划分为各种不同的类型。例如，按着系统的形成和功能是否有人参与，可划分为自然系统和人造系统；太阳系就是自然系统，而工厂企业是人造系统。如果按系统与其环境是否有物质、能量和信息的交换，可将系统划分为开放系统和封闭系统；当然，真正的封闭系统在客观世界中是不存在的，只是为了研究上的方便，有时把一个实际具体系统近似地看成封闭系统。如果按系统状态是否随着时间的变化而变化，可将系统划分为动态系统和静态系统；同样，真正的静态系统在客观世界也是不存在的，只是一种近似描述。如果按系统物理属性的不同，又可将系统划分为物理系统、生物系统、生态环境系统等。按系统中是否包含生命因素，又有生命系统和非生命系统之分，等等。

以上系统的分类虽然比较直观，但着眼点过分地放在系统的具体内涵，反而失去系统的本质，而这一点在系统科学研究中又是非常重要的。为此，在文献［2］中提出了以下分类方法。

根据组成系统的子系统以及子系统种类的多少和它们之间关联关系的复杂程度，可把系统分为简单系统和巨系统两大类。简单系统是指组成系统的子系统数量比较少，它们之间关系自然比较单纯。某些非生命系统，如一台测量仪器，这就是小系统。如果子系统数量相对较多（如几十、上百），如一个工厂，则可称作大系统。不管是小系统还是大系统，研究这类简单系统都可从子系统相互之间的作用出发，直接综合成全系统的运动功能。这可以说是直接的做法，没有什么

① 本文由钱学森、于景元、戴汝为联合署名，原载于《自然杂志》1990年第1期。

曲折，顶多在处理大系统时，要借助于大型计算机，或巨型计算机。

若子系统数量非常大（如上万、上百亿、上万亿），则称作巨系统。若巨系统中子系统种类不太多（几种、几十种），且它们之间关联关系又比较简单，就称作简单巨系统，如激光系统。研究处理这类系统当然不能用研究简单小系统和大系统的办法，就连用巨型计算机也不够了，将来也不会有足够大容量的计算机来满足这种研究方式。直接综合的方法不成，人们就想到本世纪初统计力学的巨大成就，把亿万个分子组成的巨系统的功能略去细节，用统计方法概括起来。这很成功，是 Prigogine 和 Haken 的贡献，它们各自称为耗散结构理论和协同学。

3.4.2　开放的复杂巨系统

如果子系统种类很多并有层次结构，它们之间关联关系又很复杂，这就是复杂巨系统。如果这个系统又是开放的，就称作开放的复杂巨系统。例如：生物体系统、人脑系统、人体系统、地理系统（包括生态系统）、社会系统、星系系统等。这些系统无论在结构、功能、行为和演化方面，都很复杂，以至于到今天，还有大量的问题，我们并不清楚。如人脑系统，由于人脑的记忆、思维和推理功能以及意识作用，它的输入-输出反应特性极为复杂。人脑可以利用过去的信息（记忆）和未来的信息（推理）以及当时的输入信息和环境作用，作出各种复杂反应。从时间角度看，这种反应可以是实时反应、滞后反应甚至是超前反应；从反应类型看，可能是真反应，也可能是假反应，甚至没有反应。所以，人的行为绝不是什么简单的“条件反射”，它的输入-输出特性随时间变化。实际上，人脑有 10^{12} 个神经元，还有同样多的胶质细胞，它们之间的相互作用又远比一个电子开关要复杂得多，所以美国 IBM 公司研究所的 Clementi 曾说[3]，人脑像是由 10^{12} 台每秒运算 10 亿次的巨型计算机关联而成的大计算网络！

再上一个层次，就是以人为子系统主体而构成的系统，而这类系统的子系统还包括由人制造出来具有智能行为的各种机器。对于这类系统，“开放”与“复杂”具有新的更广的含义。这里开放性指系统与外界有能量、信息或物质的交换。说得确切一些：第一，系统与系统中的子系统分别与外界有各种信息交换；第二，系统中的各子系统通过学习获取知识。由于人的意识作用，子系统之间关系不仅复杂而且随时间及情况有极大的易变性。一个人本身就是一个复杂巨系统，现在又以这种大量的复杂巨系统为子系统而组成一个巨系统——社会。人要认识客观世界，不单靠实践，而且要用人类过去创造出来的精神财富，知识的掌握与利用是个十分突出的问题。什么知识都不用，那就回到 100 多万年以前我们的祖先那里去了。人已经创造出巨大的高性能的计算机，还致力于研制出有智能行为的机器，人与这些机器作为系统中的子系统互相配合，和谐地进行工作，这是迄今为止最复杂的系统了。这里不仅以系统中子系统的种类多少来表征系统的

复杂性，而且知识起着极其重要的作用。这类系统的复杂性可概括为：第一，系统的子系统间可以有各种方式的通信；第二，子系统的种类多，各有其定性模型；第三，各子系统中的知识表达不同，以各种方式获取知识；第四，系统中子系统的结构随着系统的演变会有变化，所以系统的结构是不断改变的。我们把上述系统叫作开放的特殊复杂巨系统，即通常所说的社会系统。

系统的这种分类，清晰地刻画了系统复杂性的层次，它对系统科学理论和应用研究具有重大意义。从社会系统的最近研究中，也可以看出这一点。研究人这个复杂巨系统可以看作是社会系统的微观研究。而在社会系统的宏观研究方面，根据马克思创立的社会形态概念，任何一个社会都有三种社会形态，即经济的社会形态、政治的社会形态、意识的社会形态，可把社会系统划分为三个组成部分，即社会经济系统、社会政治系统、社会意识系统。相应于三种社会形态应有三种文明建设，即物质文明建设（经济形态）、政治文明建设（政治形态）和精神文明建设（意识形态）。社会主义文明建设，应是这三种文明建设的协调发展[4]。这一结论无论在理论上还是在实践中都有重要意义。从实践角度来看，保证这三种文明建设协调发展的就是社会系统工程。按着系统工程的定义，组织管理社会经济系统的技术，就是经济系统工程；组织管理社会政治系统的技术，就是政治系统工程；组织管理社会意识系统的技术，就是意识系统工程。而社会系统工程则是使这三个子系统之间以及社会系统与其环境之间协调发展的组织管理技术。从我国改革和开放的现实来看，不仅需要经济系统工程，更需要社会系统工程。单纯地进行经济体制改革，不注意另外两个子系统的关联制约作用，经济体制改革难以成功。例如“官倒”、党内某些腐败现象、社会风气不正等等，都对经济体制改革造成了严重影响，以至于不得不治理经济环境，整顿经济秩序。党的十三届五中全会提出的进一步治理整顿和深化改革，就是社会主义制度的自我完善，是中国社会形态的自我完善。这都说明了单打一的零散改革是不行的。改革需要总体分析、总体设计、总体协调、总体规划，这就是社会系统工程对我国改革和开放的重大现实意义。

从以上列举的开放的复杂巨系统的实例中，可以看到，它们涉及生物学、思维科学、医学、地学、天文学和社会科学理论，所以这是一个很广阔的研究领域。值得指出的是，这些领域的理论本来分布在不同的学科甚至不同的科学技术部门，而且均已有了较长的历史，也都或多或少地用本学科的各自语言涉及开放的复杂巨系统这一思想，如中医理论，但今天却都能概括在开放的复杂巨系统的概念之中，而且更加清晰、更加深刻了。这个事实启发我们，开放的复杂巨系统概念的提出及其理论研究，不仅必将推动这些不同学科理论的发展，而且还为这些理论的沟通开辟了新的令人鼓舞的前景。

3.4.3 开放的复杂巨系统的研究方法

开放的复杂巨系统目前还没有形成从微观到宏观的理论，没有从子系统相互作用出发构筑出的统计力学理论。那么有没有研究方法呢？有些人想得比较简单，硬要把第一节中讲到的处理简单系统或简单巨系统的方法用来处理开放的复杂巨系统。他们没有看到这些理论方法的局限性和应用范围，生搬硬套，结果适得其反。例如，运筹学中的对策论，就其理论框架而言，是研究社会系统的很好工具。但对策论今天所达到的水平和取得的成就，远不能处理社会系统的复杂问题。原因在于对策论中已把人的社会性、复杂性、人的心理和行为的不确定性过于简化了，以至于把复杂巨系统问题变成了简单巨系统或简单系统的问题了。同样，把系统动力学、自组织理论用到开放的复杂巨系统研究之中，所以不能成功，其原因也在于此。系统动力学创始人 Forrester 自己就提出[5]，对他的方法要慎重，要研究模型的可信度。但国内有些人对此却毫不担心，“大胆”使用。

另外，也有人一下子把复杂巨系统的问题上升到哲学高度，空谈系统运动是由子系统决定的，微观决定宏观等等。一个很典型的例子就是“宇宙全息统一论”[6]。他们没有看到人对子系统也不能认为完全认识了。子系统内部还有更深更细的子系统。以不全知去论不知，于事何补？甚至错误地提出“部分包含着整体的全部信息”、“部分即整体，整体即部分，二者绝对同一”，这完全是违反客观事实的，也违反了马克思主义哲学。

实践已经证明，现在能用的、唯一能有效处理开放的复杂巨系统（包括社会系统）的方法，就是定性定量相结合的综合集成方法，这个方法是在以下三个复杂巨系统研究实践的基础上，提炼、概括和抽象出来的，这就是：

一，在社会系统中，由几百个或上千个变量所描述的定性定量相结合的系统工程技术，对社会经济系统的研究和应用。

二，在人体系统中，把生理学、心理学、西医学、中医和传统医学等综合起来的研究。

三，在地理系统中，用生态系统和环境保护以及区域规划等综合探讨地理科学的工作。

在这些研究和应用中，通常是科学理论、经验知识和专家判断力相结合，提出经验性假设（判断或猜想）；这些经验性假设不能用严谨的科学方式加以证明，往往是定性的认识，但可用经验性数据和资料以及几十、几百、上千个参数的模型对其确实性进行检测；这些模型也必须建立在经验和对系统的实际理解上，经过定量计算，通过反复对比，最后形成结论；这样的结论就是我们在现阶段认识客观事物所能达到的最佳结论，是从定性上升到定量的认识。

综上所述，定性定量相结合的综合集成方法，就其实质而言，是将专家群体

(各种有关的专家)、数据和各种信息与计算机技术有机结合起来,把各种学科的科学理论和人的经验知识结合起来。这三者本身也构成了一个系统。这个方法的成功应用,就在于发挥这个系统的整体优势和综合优势。

近几年,国外有人提出综合分析方法(meta-analysis)[7],对不同领域的信息进行跨域分析综合,但还不成熟,方法也太简单,而定性定量相结合的综合集成方法却是真正的"meta-synthesis"。

3.4.4 综合集成方法的实例

下面,我们以社会经济系统工程中"财政补贴、价格、工资综合研究"为例,来说明这个方法及其应用。这个案例是成功的。

1979年以来,由于实行农副产品收购提价和超购加价政策,提高了农民收入,这部分钱是由国家财政补贴的。但是,当时对销售价格没有作相应调整,结果是随着农业连年丰收,超购加价部分迅速增大,给国家财政带来了沉重的负担,是财政赤字的主要根源。这样,造成了极不正常的经济状态:农业越丰收,财政补贴越多,致使国家财政收入增长速度明显低于国民收入增长速度,财政收入占国民收入的比例逐年下降。

财政补贴产生的这些问题,引起国家的极大重视,有关部门提出,如何利用价格工资这两个经济杠杆,逐步减少以至取消财政补贴。然而,调整零售商品价格必将影响到人民生活水平;如果伴以工资调整,又涉及财政负担能力、市场平衡、货币发行和储蓄等。这些问题涉及经济系统中生产、消费、流通、分配这四个领域。

财政补贴、价格、工资以及直接和间接有关的各个经济组成部分,是一个互相关联互相制约的具有一定功能的系统。调整价格和工资从而取消财政补贴,实质上就是改变和调节这个系统的关联、制约关系,以使系统具有我们希望的功能,这是系统工程的典型命题。

为了解决这个问题,首先由经济学家、管理专家、系统工程专家等依据他们掌握的科学理论、经验知识和对实际问题的了解,共同对上述系统经济机制(运行机制和管理机制)进行讨论和研究,明确问题的症结所在,对解决问题的途径和方法作出定性判断(经验性假设),并从系统思想和观点把上述问题纳入系统框架,界定系统边界,明确那些是状态变量、环境变量、控制变量(政策变量)和输出变量(观测变量)。这一步对确定系统建模思想、模型要求和功能具有重要意义。

系统建模是指将一个实际系统的结构、功能、输入-输出关系用数字模型、逻辑模型等描述出来,用对模型的研究来反映对实际系统的研究。建模过程既需要理论方法又需要经验知识,还要有真实的统计数据和有关资料。

有了系统模型，再借助于计算机就可以模拟系统和功能，这就是系统仿真。它相当于在实验室内对系统做实验，即系统的实验研究。通过系统仿真可以研究系统在不同输入下的反应、系统的动态特性以及未来行为的预测等等，这就是系统分析。在分析的基础上，进行系统优化，优化的目的是要找出为使系统具有我们所希望的功能的最优、次优或满意的政策和策略。

经过以上步骤获得的定量结果，由经济学家、管理专家、系统工程专家共同再分析、讨论和判断，这里包括了理性的、感性的、科学的和经验的知识的相互补充。其结果可能是可信的，也可能是不可信的。在后一种情况下，还要修正模型和调整参数，重复上述工作。这样的重复可能有许多次，直到各方面专家都认为这些结果是可信的，再作出结论和政策建议。这时，既有定性描述，又有数量根据，已不再是先验的判断和猜想，而是有足够科学根据的结论。以上各步可用框图表示，如图 3-1 所示。

图 3-1

3.4.5　综合集成还可以用知识工程

如上所述，综合集成方法取得了很好的效果。在解决问题的过程中，专家群体和专家的经验知识起着重要的作用。在以前，如在前一节所举的实例中，这一综合的过程还没有使用机器，建立模型也是靠人动脑子思考。现在看，我们还可以进一步，在一个系统中加入知识这一极其重要的因素。这就牵涉到知识的表达和知识的处理，实际上就是知识工程的问题了。知识工程是人工智能的一个重要分支，解决问题的办法着眼于合理地组织与使用知识，从而构成知识型的系统。专家系统就是一种典型的知识型系统。专家的一部分作用可以通过专家系统来实现，所以专家系统也自然是系统中的子系统。再进一步分析，在前面关于系统分

类的讨论中，开放的特殊复杂巨系统居于最高层次，人作为这种系统中的子系统。人不能脱离社会而存在，随着社会的发展，人类创造各种机器来代替体力劳动与部分脑力劳动，结果具有智能行为的机器必然也是子系统。由人、专家系统及智能机器作为子系统所构成的系统必然是人机交互系统。各子系统互相协调配合，关键之处由人指导、决策，重复繁重工作由机器进行。人与机器以各种方便的通信方式，例如自然语言、文字、图形等，进行人机通信，形成一个和谐的系统。

近年来知识工程领域中的一些专家认识到以往忽视理论的错误倾向，已在探讨知识型系统研究的方法论问题。知识工程中的核心问题是知识表达，即如何把各种知识，如书本知识、专门领域有关的知识、经验知识、常识知识等，表示成计算机能接受并能加以处理的形式，这是必须解决的基本问题。知识型的系统与以往的动态系统不同，它的特点是以知识控制的启发式方法求解问题，不是精确的定量处理，因为许多知识是经验性的，难以精确描述。对于知识型系统，不能像以往的一些控制系统那样建立定量的数学模型，而只能采用定性的方法。如果系统中包括一些可以定量描述的部件，那么也必然是采用定性与定量相结合的方法来进行系统综合。已有许多工作是利用定性物理的概念与建模方法来建立定性模型，进而研究定性推理的[8]。定性建模是一种把深层知识进行编码的方法，关心的只是变化的趋势，例如增加、减少、不变等。定性推理指的是在定性模型上的操作运行，从而得到或预估系统的行为。这里着重的是结构、行为、功能的描述及它们之间的关系。到目前为止，已有三方面代表性的工作，一是 Xerox 公司的 De Kleer 等人从系统的观点出发提出以部件为主（component centered）的模型，认为系统最重要的特性是可合成性，在结构上系统由部件连接而成，系统的行为可由部件的行为推导而得出。他们致力于建立一种能进行解释与预估的定性物理系统。另一是 MIT 计算机科学实验室的 Kuiper 提出以约束为主（constraint centered）的模型。第三是 MIT 人工智能实验室的 Forbus 提出以进程为主（process centered）的模型。他把引起运动和变化的原因等称为进程，致力于建立进程对物理过程影响的理论。知识工程中研究定性建模与推理的动机是研究常识知识，解决常识知识的表达、存储、推理等。很多专家认为定性建模与推理的方法及理论研究很可能是解决利用常识知识的途径。1988 年欧洲人工智能大会把最佳论文奖授予关于定性物理模型和计算模型的论文，说明人们对这方面的研究所抱的希望。

实际上人工智能领域中有许多重要的工作是从系统的角度考虑的。有一种主张把人工智能的研究概括为是对各种定性模型（物理的、感知的、认识的、社会系统的模型）的获取、表达与使用的计算方法进行研究的学问[9]。这是系统科学观点的反映。当前人工智能领域中综合集成的思想得到重视，计算机统筹制造系

统（computer integrated manufacture system，CIMS）的提出与问世就是一个例子。在工业生产中，产品设计与产品制造是两个重要方面，各包括若干个环节，这些环节以现代化技术通过人机交互在进行工作。以往设计与制造是分开各自进行的。现在考虑把两者用人工智能技术有机地联系起来，及时把制造过程中有关产品质量的信息向设计过程反馈，使整个生产灵活有效，又能保证产品的高质量。这种把设计、制造，甚至管理销售统一筹划设计的思想恰恰是开放的复杂巨系统的综合集成思想的体现。

总之，我们把系统的“开放性”和“复杂性”这两个概念拓广之后，对系统的认识就更加深刻，所概括的内容也就更为广泛。这种广泛性是从现代科学技术的发展，尤其是新兴的知识工程的发展中抽象概括而得来的，有着坚实的基础与充分的根据。在我们阐明了开放的特殊复杂巨系统属于系统分类中的最高层次之后，实际上就把系统科学与人工智能两大领域明显地加以沟通。这样一来各种以知识为特征的智能型系统，如互相合作的人工智能系统、分布式人工智能系统以及实时智能控制系统等都属于一个统一的、明确的范畴。这就有利于去建立开放的复杂巨系统的理论基础，这是当代科学发展的必然结果。

3.4.6　开放的复杂巨系统研究的意义

从以上所述，定性定量相结合的综合集成方法，概括起来具有以下特点：

一，根据开放的复杂巨系统的复杂机制和变量众多的特点，把定性研究和定量研究有机地结合起来，从多方面的定性认识上升到定量认识。

二，由于系统的复杂性，要把科学理论和经验知识结合起来，把人对客观事物的星星点点知识综合集中起来，解决问题。

三，根据系统思想，把多种学科结合起来进行研究。

四，根据复杂巨系统的层次结构，把宏观研究和微观研究统一起来。

正是上述这些特点，才使这个方法具有解决开放的复杂巨系统中复杂问题的能力，因此它具有重大的意义，以下将着重讲讲这个看法。

现代科学技术探索和研究的对象是整个客观世界，但从不同的角度、不同的观点和不同的方法研究客观世界的不同问题时，现代科学技术产生了不同的科学技术部门。例如，自然科学是从物质运动、物质运动的不同层次、不同层次之间的关系的角度来研究客观世界的，社会科学是从研究人类社会发展运动、客观世界对人类发展影响的角度去研究客观世界的，数学科学则是从量和质以及它们互相转换的角度研究客观世界的……[10]；而系统科学是从系统观点，应用系统方法去研究客观世界的。系统科学作为一个科学技术部门，从应用到基础理论研究都是以系统为研究对象。在宏观世界，我们这个地球上，又产生了生命、生物，出现了人类和人类社会，有了开放的复杂巨系统。而这类系统在宇观世界也是存

在的，例如银河星系也是一个开放的复杂巨系统。这样看来，开放的复杂巨系统概念，已经超出了宏观世界而进入了更广阔的天地。因此，开放的复杂巨系统及其研究具有普遍意义。但是，正如前面已经指出的那样，过去的科学理论都不能解决开放的复杂巨系统的问题，这也是有原因的，可以从历史中去找。

大家知道，长期以来不同领域的科学家们早已注意到，在生命系统和非生命系统之间表现出似乎截然不同的规律。非生命系统通常服从热力学第二定律，系统总是自发地趋于平衡态和无序，系统的熵达到极大。系统自发地从有序变到无序，而无序却决不会自发地转变到有序，这就是系统的不可逆性和平衡态的稳定性。但是，生命系统却相反，生物进化、社会发展总是由简单到复杂、由低级到高级越来越有序。这类系统能够自发地形成有序的稳定结构。

两类系统之间的这种矛盾现象，长时间内得不到理论解释，致使有些科学家认为，两类系统各有各自的规律，相互毫不相干。但也有些科学家提出：这种矛盾现象有没有什么内在联系呢？直到 20 世纪 60 年代，耗散结构理论和协同学的出现，为解决这个问题提供了一个科学的理论框架。这些理论认为，热力学第二定律所揭示的是孤立系统（与环境没有物质和能量的交换）在平衡态和近平衡态（线性非平衡态）条件下的规律。但生命系统通常都是开放系统，并且远离平衡态（非线性非平衡态）。在这种情况下，系统通过与环境进行物质和能量的交换引进负熵流，尽管系统内部产生正熵，但总的熵在减少，在达到一定条件时，系统就有可能从原来的无序状态自发地转变为在时间、空间和功能上的有序状态，产生一种新的稳定的有序结构，Prigogine 称其为耗散结构。这样，在不违背热力学第二定律的条件下，耗散结构理论沟通了两类系统的内在联系，说明两类系统之间并没有真正严格的界限，表观上的鸿沟，是由相同的系统规律所支配。所以，Prigogine 在其著作中指出，“复杂性不再仅仅属于生物学了，它正在进入物理学领域，似乎已经植根于自然法则之中”[11]。Haken 更进一步指出，一个系统从无序转化为有序的关键并不在于系统是平衡和非平衡，也不在于离平衡态有多远，而是由组成系统的各子系统，在一定条件下，通过它们之间的非线性作用，互相协同和合作自发产生稳定的有序结构，这就是自组织结构。

现代科学 20 年来的这一成就是十分重要的，它阐明了长期以来困惑着人们的一个谜。但耗散结构理论、协同学的成功，也使得不少人过分乐观，以为这种基于近代科学还原论的定量方法论也可以用到开放的复杂巨系统，从而碰壁！

在科学发展的历史上，一切以定量研究为主要方法的科学，曾被称为“精密科学”，而以思辨方法和定性描述为主的科学则被称为“描述科学”。自然科学属于“精密科学”，而社会科学则属于“描述科学”。社会科学是以社会现象为研究对象的科学，社会现象的复杂性使它的定量描述很困难，这可能是它不能成为“精密科学”的主要原因。尽管科学家们为使社会科学由“描述科学”向“精密

科学”过渡作出了巨大努力，并已取得了成效，例如在经济科学方面，但整个社会科学体系距“精密科学”还相差甚远。从前面的讨论中可以看到，开放的复杂巨系统及其研究方法实际上是把大量零星分散的定性认识、点滴的知识，甚至群众的意见，都汇集成一个整体结构，达到定量的认识，是从不完整的定性到比较完整的定量，是定性到定量的飞跃。当然一个方面的问题经过这种研究，有了大量积累，又会再一次上升到整个方面的定性认识，达到更高层次的认识，形成又一次认识的飞跃。

德国著名的物理学家普朗克认为：“科学是内在的整体，它被分解为单独的整体不是取决于事物的本身，而是取决于人类认识能力的局限性。实际上存在着从物理到化学，通过生物学和人类学到社会学的连续的链条，这是任何一处都不能被打断的链条。”自然科学和社会科学的研究覆盖了这根链条。伟大导师马克思早就预言：“自然科学往后将会把关于人类的科学总括在自己下面，正如同关于人类的科学把自然科学总括在自己下面一样：它将成为一个科学。”[12]，我们称这种自然科学与社会科学成为一门科学的过程为自然科学与社会科学的一体化。可以说，开放的复杂巨系统研究及其方法论的建立，为实现马克思这个伟大预言，找到了科学的和现实可行的途径与方法。

在结束这番讨论的时候，我们还要指出：这里提出的定性与定量相结合的综合集成方法，不但是研究处理开放的复杂巨系统的当前唯一可行的方法，而且还可以用来整理千千万万零散的群众意见，人民代表的建议、议案，政协委员的意见、提案和专家的见解，以至个别领导的判断，真正做到集腋成裘。特别当我们引用它把零金碎玉变成大器——社会主义建设的方针、政策和发展战略，以至具体计划和计划执行过程的必要调节调整时（这在本文第四节讲的实例中已见一个小小的开端），就把多年来我们党提出的民主集中原则，科学地、完美地实现了。其意义远远超出科学技术的发展与进步，这是关系到社会主义建设以至实现共产主义理想的大事了。人民群众才是历史的创造者！

选自钱学森：《创建系统学》（新世纪版），
上海交通大学出版社 2007 年 1 月第 1 版。

参考文献与注释

[1] 钱学森，等. 论系统工程（增订本）. 长沙：湖南科学技术出版社，1988.
[2] 钱学森. 基础科学研究应接受马克思主义哲学指导 . 哲学研究，1989，(10)：3.
[3] New Scielist，1988：68.
[4] 钱学森，孙凯飞，于景元. 社会主义文明的协调发展需要社会主义政治文明建设 . 政治学研究，1989，(5).
[5] Forrester J W. Theory and Application of System Dyncmics，New York：New Times Press，1987
[6] 王存臻，严春友. 宇宙全息统一论. 济南：山东人民出版社，1988.

[7] Larry V H, Inqraqm O. Statistical Methods for Meta-Analysis. New York: Academic Press, 1985; Fredeeric M W. Meta-analysis: Qualitative methods for research synthesis. Sage, 1986; Robertr Rosenthal. Meta-analytic procedures for social research. Sage, 1984; Richard J L, David B P. The Science of Reviewing Research. Harvard: Harvard University Press, 1984.
[8] 王珏，崔祺．定性推理．中国计算机用户，1989，(8)：22.
[9] 戴汝为．人工智能概述．中国计算机用户，1989，(8).
[10] 吴义生．社会主义现代化建设的科学和系统工程．北京：中共中央党校出版社，1987.
[11] 尼科里斯，普利高津．探索复杂性．成都：四川教育出版社，1986.
[12] 马克思恩格斯全集（42）．北京：人民出版社，1979：128.

第四章　论智能机

4.1　关于“第五代计算机”的问题①

目前大家在讨论所谓第五代计算机，国内外议论很多，我认为要解决的核心问题是什么叫“第五代计算机”？下面只是讲讲我对这个问题的认识，并讲点开展这方面工作的初步意见，我的思路也许同大家有点不同，我想从思维科学的角度来谈这个问题，对不对头，请同志们评议。

4.1.1　巨型计算机

我想先易后难，从第四代计算机讲起，也就是从如何充分发挥现有的巨型机[1]（如“银河”号计算机）的功能说起，目的是开发计算机的科学应用。

现在的巨型机已打破了冯·诺伊曼的格局，引入了并行运算。但是，如何充分运用它，还有问题。也就是说，我们还不大会使用这种运算结构，计算机的潜力尚未得到充分发挥。国外类似的计算机，像 Cray-1，Cyber-205，用户都不大会使用，多数不能充分发挥作用。这是个带共性的问题，我想这有四个方面的问题。

1. *关于非线性偏微分方程*

我们知道，当偏微分方程是线性的时，它的解的性质是明确的，而对非线性偏微分方程来说有很多问题尚未解决；在这个问题上，我个人有点体会。在 40 年代已经发现，因为非黏性气体的气动力学微分方程是非线性的，这种微分方程的解不是在所有的情况下都存在的，有时虽然物体运动的速度是亚音速的，但当速度增大到一定的马赫数时，理想气体连续的解就好像不存在了[2]。这里因为我们算不出解来，而形成的一种猜想。据我所知这个理论问题至今还没有解决，非线性偏微分方程的解是比较复杂的，而我们现在实际应用中，许多工程技术问题都涉及非线性偏微分方程问题，下面就这一点谈三个问题。

关于非线性有限元的计算方法。我们知道，目前计算机解偏微分方程都是用

---

① 这是钱学森 1984 年 8 月 3 日在“国防科工委第五代计算机专家讨论会”上的发言。原载《自然杂志》8 卷 1 期。

有限元的方法。有限元分析方法用到解非线性偏微分方程上到底应该怎么办？这是目前正在研究的一个问题。比如，据我所知，北京工业学院的张相麟教授在研究这个问题[3]。这是个重要问题，应该很好地研究。

关于多阶摄动的计算方法，即如果不用有限元分析方法，而用多阶摄动方法解非线性偏微分方程，在计算机上是用符号计算而不是用数字计算。在空气动力学中，此法是很有价值的，因为它得出的解不是某一个来流马赫数，即 M 数的解，而是其他 M 数的解也有了。这一方面也包括奇异摄动法，即摄动法中出现个小参数，是与最高阶偏微分方程结合的，这就有点麻烦，我们国家也有人研究这个问题[4]。这个方面的工作从数学分析上已经有了，问题是如何将这种方法用到计算机上，用符号计算而不是数字计算。这个问题在我们国家还没有人研究，我曾经和中国空气动力研究与发展中心的张涵信同志交换过意见。他认为应该做这个工作，但这个问题相当大，要有一个计划，组织力量才能搞起来。

关于偏微分方程的性质。线性偏微分方程的解比较规矩，不大会出乱子，我们对此不必担心。在非线性偏微分方程的解中，就如上面举的非黏性理想气体动力学的例子，常常会出乱子。在这种情况下，如果对解的性质事先没理解，就去算的话，算出的结果很可能不是真的。因此，在计算以前，我们对非线性偏微分方程的解的性质有所了解，即在什么情况下可能有特殊表现，从而我们要有所警惕，算的时候采取措施。这个问题涉及微分几何、微分拓扑、微分流型这样一些数学领域。比如说，要解决前面我所提到的那个高临界 M 数问题，就要从研究解的性质入手。看来，这个问题在数学上已经有了准备，我知道的，核工业部的周毓麟同志从实际工作中注意到了这个问题[5]。我觉得，不但要从数学的理论上肯定有办法回答这个问题，而且要具体地把这个问题回答出来。这就是说，对非线性①微分方程解的性质的分析也要用上计算机，由计算机来做出回答，就像计算机来证明四色定理一样，因为由人来做这项工作可能太麻烦了。

总的说来，从计算数学或者计算科学的角度出发，要用好现在的巨型机，特别是有并行运算的巨型机，也就是说人要学会聪明地用巨型机，就得人和机器结合好才行，不然的话，发挥不了机器的潜力，甚至得到错误的结果。为此，首先要解决并行计算的问题，此外还要研究三个问题：一，非线性有限元的分析；二，多阶摄动法；三，对非线性偏微分方程解的性质，即对解存不存在，什么时候会出现特殊情况，要有预见性，而对预见性的分析也要上电子计算机。当然，还有机器软件、算题软件等问题也要研究。

在计算数学方面，我想到有这些问题必须解决。如果这样的话，将来是不是要开专门讨论会研究这些问题？这要动员比现在多得多的科技人员来做这方面的

① 这里应该是漏掉了一个“偏”字，因为此段说的都是偏微分方程问题。——编者

工作。我们需要数学家的帮助。当然这也会开拓数学科学，促进数学科学的发展。关于这个问题，上海复旦大学谷超豪同志有篇文章[6]，他指出，数学科学的发展与计算机密切相关，我赞成这个观点，这个问题现在应该引起我们的重视，过去我们只是忙于制造机器，认为机器制造出来总是有用的，至于怎么用，是不大重视的。因此，机器虽然造出来了，但是还不大会用，这个问题必须提到议事日程上来，这样才能充分发挥巨型机的作用。

2. 巨型机在新技术革命中的意义

以上讲的是现在已有的计算机如何充分发挥作用的问题，下面我要讲的是，现在的机器仅仅是打破了冯·诺伊曼的流水线单线运算，加上了并行运算。再发展下去，就是更大一些的巨型机。这个发展的意义也是很大的。美国现在是三家公司搞巨型机，公司的规模都很小：一家是 Cray Research 公司，出的机器叫 Cray-1，现在搞 Cray-XMP；另一家原是做 Cyber-205 机器的 CDC，从这家又分出个专做巨型机的 ETA Systems 公司；第三家是新起来的，叫 Denelcor 公司，出的机器叫 HEP-1。总起来说，这些机器的运算速度是每秒几十兆浮点运算(M flops)，这是现在的巨型机达到的水平，把它们用到工程技术上，如进行空气动力学的计算来代替风洞试验，用于进行涡轮叶片分析，代替涡轮叶片试验，等等。要完成这样的任务，现在的运算速度还偏低，上面讲的两种计算要有效的话，一次求解时间不得超过一分钟。这是指高技术（high technology）和尖端技术（hyper-technology）要用巨型机的计算分析来代替复杂而又昂贵的试验问题。美国《航空周刊》杂志 1984 年 5 月 28 日和 6 月 4 日两期上有文章专门讲这个问题。该刊分析认为，现在的巨型机销路不大，是因为目前这种机器的运算速度还不适应它所要解决的问题，即速度还不够快。因此像 IBM 这样比较大的计算机公司不搞巨型机，认为利润不大，上述三家公司都是比较小的，Cray-1 到目前为止只卖了 65 台，ETA Systems 公司搞的 Cyber-205 只销售了 25 台，而 Denelcor 公司的 HEP-1 只卖出 4 台。这就是说，美国现在的巨型机只卖了 100 台左右。他们认为，如果在技术上没有重大突破的话，到 1990 年大概只能卖出 400 台。

要突破，就是要把现在的运算速度再大大提高。这可以是一种对第五代计算机的理解，即只是在并行运算上突破了冯·诺伊曼格局，这种理解实质上是对第四代计算机的进一步发展。这种计算机要真正能代替工程技术上耗费巨大的试验，其运算速度不是几十兆浮点运算，而是几千兆浮点运算。即把现在的运算速度提高几十倍至 100 倍。我们可以接受对第五代计算机的这种理解，因为这样的计算机用于工程技术，总是比进行大型试验要省时、省钱。

这种对第五代计算机的认识，虽然仅仅是第四代计算机的发展，但问题也很

大。除了上面讲的计算数学方面的问题以外，还有机器上的问题。我们的目的是要比现在的计算机运算速度快几十倍至100倍，但是，从现在半导体器件的发展来看，运算的基频再提高恐怕有限。可以用砷化镓器件，但提高也只是几倍而已，不可能几十倍、上百倍地提高。虽然如此，我们也不能放弃这方面的努力，还要在这上面下工夫。但是，看起来更为可行的办法是增加并行运算器，现在的巨型机是2～4个并行运算器，美国人认为到20世纪80年代后期会增加到8～16个，90年代后期进一步加到60个或者更多。可是，我们现在连2～4并行运算器的机器都还不大会用，将来要进一步增加那么多并行运算器，这个数学问题就更大了。但是，又必须这样做，不这样做，运算速度不可能提高到实际应用所要求的那个量级。

3. 巨型计算机设计研究

另外还有一个专门设计的运算器，配备这种运算器的机器叫数据流计算机，适于搞矩阵运算。我最近看到美国有一家FPS公司（Floating Point Systems）搞了个广告说，它有一架机器，叫FPS-164/MAX，这个机器实际上是专门搞矩阵运算的。据说找1000×1000的矩阵的因子，用这种机器大概只要一秒钟。假设是乘两个10000×10000矩阵要两小时，已经做到300兆浮点运算。它宣传的这个机器虽然是300兆浮点运算，只卖100万美元，很便宜，但是你再看下去就明白，它是专长于干一件事的，即作矩阵运算。那么如果这样来考虑问题的话，我们认为还有另外的途径，就是用光学透镜的矩阵运算，这是大家都知道的，以前用过的；但以前光学透镜是用来进行模拟计算的，因而精度不高，有局限性，但现在我看到美国一刊物上有一篇文章[7]，讲光学透镜的数值式矩阵运算器，这已经在开始做了，那么，将来这个技术发展下去，那就是把光学透镜的矩阵运算，超高的速度跟数值计算的精度结合起来了，我觉得这也是一个方向。所以在并行运算里头，大概常常碰到的是大量的矩阵运算。矩阵的计算可以有专门的矩阵运算器。从更长远的发展来看，就是光学透镜的数值矩阵运算器，速度可以更高。

另外我觉得还要提一下，1977年在北京友谊宾馆讨论现在银河号机器的那个会上，我提过的几个问题。在那个时候，大家都想着要搞银河号机，忙着搞机器，长远的问题来不及考虑，我提那几个问题可能太早了，但是现在我觉得我们要考虑这些问题。我们要认识到：现在电子计算机的发展比之于在50年代电子计算机的发展有一个很大的不同，形象地说，可以是这么两句话，就是在以前是元件很贵，而导线是便宜的。现在呢？反过来了，元件很便宜，而“导线”是贵的了，导线怎么贵呢？因为导线长了以后，运算的速度就上不去，所以导线是件麻烦的事。我记得还看过一份材料，这个材料讲的不是像现在我们的银河号巨型

机，是一般的大型计算机。它说它的元件到底占它的成本多少呢？很少的一部分，大量的成本是花在“导线”上，也就是机器的结构方面。这就提出一个很值得我们考虑的问题，即我们现在的设计思想是不是还沿袭了过去元件贵、导线便宜的那个时代的思想？而现在反过来了，是元件便宜“导线”贵。那就值得我们考虑，现在我们搞的结构设计，指导思想上是不是有错误？

这就给我们提出了一个问题，就是机器的结构，几何布局是非常重要的。不久以前，我也看到一篇文章[8]说，由于大规模集成电路的发展，一个片子上元件可以很多了。这样一来，其机器的结构就变了，缩短了信号传递的途径，因而加快了它的速度。那么，这就是说我们设计机器时也要考虑它的拓扑结构和几何结构。这是一个很有意义的问题，是一个很本的改革，这问题很值得我们研究。

记得 1977 年我还提了一个问题，就是既然元件便宜了，那是不是可以考虑多用一些元件来提高计算机的速度，这可能不可能？因为过去为了节省元件，我们设计了一套逻辑运算结构，现在元件便宜了，能不能改呀？后来我知道电子工业部的罗沛霖同志做过一些这方面的工作，证明这是可以的。多用一点元件，速度可以增加，我听说中国科学院半导体研究所的王守觉同志也很重视这个问题，我觉得这个问题值得研究。像这样的一些问题，我提的还不全，都是属于我们进一步发展电子计算机方面的问题，也就是进一步提高运算的能力。在这方面，应该打破一些旧的框框。

以上这些意见我曾在 1977 年说过，今天我们的第一代巨型机已经做出来了，现在要考虑我们国家在第一代巨型机的基础上怎样再提高速度。我们必须从科学道理上来探讨这些问题，而不是盲目地向前跑。如果应该研究的话，我们是不是也应该开一个专门的讨论会？请各家都来，就机器本身的问题，充分讨论一下。

4. 巨型计算机的前途是进一步开发

现在，同志们是不是会提这样一个问题：说我怎么一股劲地要把计算机的运算速度提高，说现在的机器还不行，还要提高几十倍到 100 倍，今后是不是还会说 100 倍也不够，还要提高呢？这到底有没有完？

这个概念有什么意义呢？一个意义，我刚才已经讲了，就是在高技术，或者尖端技术上，它是有意义的。今天在座的有些同志是搞核技术的，对核技术来讲，那是完全有意义的。核爆的技术要进一步发展，就需要更快的计算速度。

另外，这个概念还涉及一个更广的领域，就是自然科学的研究领域。同志们都知道，现在的电子计算机已经用在自然科学研究领域里了，譬如说量子化学，用计算机计算分子结构，这就是所谓计算化学，再发展下去，有一种说法，就是很多化学反应不要做实验，而是用计算机算就行了，或者是实验很难做出来的那些东西，计算机可以算出来，再进一步发展变成用计算机来设计具有一定性质的

化学分子。要实现这一些，计算量当然是很大的。在天文研究上，大家都知道，过程一般是很慢的，人要等这个变化，几代人也看不见，怎么办呢？可以把这些过程在电子计算机上模拟，看看对不对。如果模拟出来了，那个理论就有根据了。现在已经把这个方法用来研究宇宙学。譬如说，在大爆炸理论中，爆炸以后，怎么会形成现在这样的不大均匀的宇宙，有的地方星系多一些，有的地方空一些？这是怎么形成的？等等。这样的问题也可以用电子计算机模拟，而且模拟的结果是很清楚的。

现在，其他方面的自然科学研究，像生态学的研究，也用电子计算机算。

这一些例子虽然说明电子计算机促进了自然科学的发展，但是不能说自然科学的发展离不开电子计算机，最近有一个戏剧性的例子[9]，现在物理学上的一个根本问题，就是重子问题，也就是强作用力到底怎么理解？同志们可能都知道，物理学家已搞出了一个理论的框架，就是所谓量子色动力学。不幸，量子色动力学非常复杂，比量子电动力学要复杂得多。所以，理论框架有了，但是怎么用理论的框架来得出一些结果，这个计算量大得受不了。没办法算。在 1974 年，那还是量子色动力学早期的时代，美国科学家肯尼斯·威尔逊（Kenneth Wilson，他在 1982 年获得诺贝尔奖金）建议用四维点格法解决强相互作用的理论问题。也就是有限元化，把连续的场变成网格，然后就可以用蒙特卡罗法计算。

他的这个建议，在当时物理学界也不那么引起重视。到了前年，用别的方法实在不行了。我记得那时，在广州召开的基本粒子会议上很热烈地讨论了所谓网格法，到去年就实施了，但发现这个问题计算量很大，一般的计算机不行。所以物理学家变成了计算机的热心家，到处找大容量的计算机。那么，现在有一些初步的结果，觉得用电子计算机算，按威尔逊建议的四维空间网格法，很有希望。这对量子色动力学的一些特殊问题，例如，夸克的禁闭，都可以解释，以至于基本粒子方面的理论，如能不能把各种重子的质量都预见地算出来？现在认为可以，但是他们用 Cray-1 计算机，速度还不够大。现在，美国的理论物理学家联合研究这个问题，要求政府支持做一个计算机器（computer engine）的方案，用来解决量子色动力学问题。他们把计算机提到了解决物理学中基本问题的关键性的高度，没有计算机就无法进行下去了。

国防科工委科计委的程开甲同志认为，现在做高能加速器，已经到了做不下去的地步，问题是花费太大了。要做到更高的能量，一条途径，就是计算，不做实验了。我觉得这很有意义，就是说，不但是工程技术，就是自然科学、基础科学要进一步发展，超大型电子计算机也是一个关键的项目。那么，这样就把工程技术、自然科学、科学技术综合起来了。结论就是在第四代计算机的基础上，不搞什么原则性的突破，只是把计算的能力再提高几十倍，一百倍，或者几百倍，这对于工程技术、自然科学、基础科学，都是有重大意义的，而且可能是关键性的。

我们要认真对待这个问题。假如是这样的话，那么，这方面的问题再加上计算数学方面、机器方面以及其他方面的问题，我们都应该认真地研究一下，来奠定我们国家今后巨型计算机的基本方针政策。这项工作显然是国家规模的。现在已经有了巨型计算机。是不是可以把所谓第五代计算机认做是第二代巨型计算机，是第四代计算机的进一步发展？这是对于什么是第五代计算机问题的一种答案。第五代计算机是什么？是第二代巨型计算机，它不包括其他电子计算机的工作，单抓巨型机和巨型机有关的工作。

4.1.2　智能机

第五代计算机还有另一种答案，就是我下面要讲的。这另一种说法是爱德华·费根鲍姆（Edward Feigenbaum）和美国女作家帕梅拉·麦科达克（Pamela McCorduck）在他们合写的《第五代：人工智能和日本计算机对世界的挑战》一书中提出的。他们认为日本人说的第五代计算机是一次重要的计算机革命。这种计算机的功能、概念，都与前四代不一样。后来美国《商业周刊》说，如果日本人的机器搞出来了，那么，产生知识的重担，将从人的头脑转到机器。这句话当然不太确切。总而言之，这种第五代计算机的概念，跟我前面所描述的第五代计算机的概念是完全不一样的。

1. 新的内容：形象（直感）思维

日本人考虑的第五代计算机，有一些什么新的内容呢？一般说要在计算机上加图像信息处理系统，能够认识图像，还有知识信息处理系统，专家系统和知识库，最后，是把这些和机器的逻辑运算组织起来，成为一个体系。那么，我们从思维科学的角度来看，这个问题包括图像处理系统、知识信息处理系统和专家系统，都有个特点，即这些东西实际上突破了单纯的逻辑思维，也就是抽象思维的框框，已经包含有形象（直感）思维的因素。我认为，从思维科学来看，形象（直感）思维是不同于逻辑思维的。它们要从逻辑思维、抽象思维中突破出来，这是一个很大的突破。从前的计算机，冯·诺伊曼格局，第一条就是逻辑运算。后来，到第四代，再到我们说的将来的第二代巨型计算机。那就把并行运算充分发展了，但是还没有突破以逻辑思维、逻辑推理为基础的这个原则。现在，日本人讲的图像处理系统、知识信息处理系统、专家系统，这些东西不一样了，不限于逻辑推理，而是更广阔了。广阔在哪里？就在于加入了人的经验的因素，我现在来讲一讲这个问题。

2. 模式识别

在过去十多年中研究得非常热烈的一个项目，是所谓的模式识别。它是说识

别一个图形，比如认字。人认字的本事是很大的，写得很潦草的字，“龙飞凤舞”的字，人也可以认出来。那么，用机器呢？就不行了。比如，外国图书馆有认字的机器，为盲人用的，认印刷字可以，能读出来，盲人读我们看的书，就用这种机器。但是它只能认印刷体，书写体不行，或规定的几种印刷体之外的也不行。还有语音识别，比如两个人的对话，尽管有不同的口音，又有文法错误，或加进了其他东西，但没有关系，两个人都可以听懂。但是用机器对话，简单的语言，如口令还可以，谈话这种语言要让机器去听，就不行，那会乱套的。国外的模式识别已经搞了十多年了，问题在哪里，我觉得就是原来研究模式识别，完全是用逻辑推理，就是用抽象思维的方法。而实际上，人的模式识别，有形象思维，不光是逻辑推理，这里有经验的因素，这是人从经验上知道，哪些是不可能的，哪些是可能的，这样，就大大地简化了推理过程。当然，人的本事也是有一定范围的，在你的经验基础之上，是可以的，超出了经验的范围是不行的。比如认字，我常常收到别人一些来信，大致都可以念出来，但有的也认不出来，有些年轻人的字特别怪，把我难住了，怎么也认不出来，从上下文看，半天也不知道什么意思，这超出了我的经验范围之外，我没有办法了。又比如人听话，小孩学听话需要很长一段时间才能听懂。开始只能听懂简单的话，复杂的话就听不懂，这也是一个经验的积累过程。

我还听说国外研究模式识别的专家们，经过多年的努力，也碰壁了，模式识别搞不下去了。现在他们中有人对专家系统很感兴趣。那么，什么是专家系统呢？专家系统就是包括经验的因素。另外，最近对于语言学的研究有突破，提出了一些概念，说语言是以知识为基础的。我想，什么叫知识基础呢？就是人的经验。这两个信息，说明形象思维的重要性，因为在形象思维中，实践经验是一个要素。除上述事例外，还可以再举一个欣赏艺术作品的例子：没有学习、领会的过程，那是欣赏不了艺术的。所谓学习，是要有经验基础的，如果没有经验基础，那么形象思维也是空的。从前鲁迅说过，不同经历的人，是不会有同样的美的感觉的。所以，所谓形象（直感）思维，就是有经验的基础，不完全是一个推理过程。

现在，日本人说的所谓第五代计算机包括的这些东西，都是包括了形象（直感）思维的，而且现在看起来，就是突破了纯粹的逻辑推理，要包括经验的因素。当然，所谓经验的因素并不光是经验就行了，经验还必须跟推理结合起来，这才能起作用。这可以举一个例子，外国有一位心理学家，见到了一位边远干旱地区的农民。这个农民在这里种地已经好多年了，种了一辈子吧。他对于正常的年景，在干旱、高温的情况下，一亩地一年收成多少知道得很清楚，比如说百八十斤吧，这是他根据经验知道的。那位心理学家去问他这个问题，他的回答很肯定。心理学家又问，“在外国有一个地方，也和这里一样的干旱，气温也差不多，

假如在那里种地，一年亩产多少?”这农民说：“不知道，我没有在你那个地方种过地，我没有办法回答。”一再问，都回说“不知道”。这说明这位农民有种他那块地的经验，但是他不能推理，形不成形象思维。这一点在马希文同志的文章[10]中也已指明。

3. 专家系统

什么叫突破了逻辑思维的框架? 就是把经验的因素引进去，这是非常重要的。所谓专家系统，就是专家的意见，只能告诉你这样做就对，你问它为什么，它说不清楚。这种事多得很。我从前在中国科技大学教书时，同学们问我，你在黑板上算积分题，怎么算得那么利索，有什么诀窍? 我说，这没法说，就是多练习嘛。说不出道理来，这就叫经验的因素。前面说过这种经验必须和推理结合起来，才能起作用。

那么，怎么使经验的因素和逻辑推理结合起来? 这是思维科学研究的大课题。现在，思维科学里头最大的一个问题，就是形象思维，好像一直说不清楚。现在觉得这同日本所谓的第五代计算机的一些发展联系起来，有启发。什么叫形象思维呢? 就是突破了单纯的逻辑，把经验和推理结合起来了，突出的例子当然就是专家系统。专家系统就是专家根据他的经验，如果有一、二、三，那么有九。你说为什么有一、二、三，就有九呢? 它说这是根据经验得来的。你就照着办好啦，只要它在专家的经验范围之内，那就是对的。

北京有个老中医，肝病专家关幼波大夫。他的经验已经上了专家系统，做过测试，就是关大夫看病，计算机也看病，计算机开的处方让关大夫看，他说开得好，应该这样开。大概这个误差很小。那就是说，这个专家系统是成功的。

我们常常说，人才难得，找出伯乐更难。伯乐就是认识人才的人。可我说，真正懂行的人认识人才并不难。假设是搞我这行，我跟他谈 15 分钟，就摸到他的底了。用不着费多大劲，也不要考试，问一问就清楚了。这就是说，我在那个行业是认识人才的专家，另外一个行业就不行了。这样的东西，是可以让计算机学会的。外国所谓的专家系统，就是搞这个东西的。

最近看到一篇文章[11]，介绍模态逻辑，这对我有启发，我认为模态逻辑就是把我们常说的逻辑扩大一点，给它加入另外的因素，可以加进经验和判断。如果这些认识是对的话，那么我觉得好像有希望了。就是专家系统看来很神秘，现在不神秘，它就是人的实践经验加推理的结果。如果这个问题解决了，那就是解决了把计算机的使用扩大到模拟人的思维的范围，扩大到形象思维。

在思维科学领域还有一个叫做灵感思维。关于灵感思维，这实际上是人的潜意识，吸取了人脑里所储存的其他的一些知识来处理问题。我们自己处在显意识、有意识的状态，但是不知道潜意识同时在一声不响地工作着，而忽然有了结

果之后，它又以潜意识告诉我们的显意识，这个问题解决了，这是所谓灵感。但是，从我们刚才讲的经验与推理结合来看，这没有什么神秘。它是说，我不是在一个专家系统，而是在很多个专家系统里，或是在更大的知识库里面搜寻我们的结果，要紧的是经验和推理怎样结合。

我觉得，如果我们从所谓第五代计算机是像日本人所说的那样来理解的话，这就是一个根本问题。这才真正把冯·诺伊曼格局的两条都打破了，不光是打破一条"流水线单行运算"，而是把逻辑运算，推理运算这一条也打破了，就到了形象思维。把人的经验因素都加进去，那么这是一个大问题，绝不是一两天能解决的。它不是追求什么高速度的问题，而是整个机器的结构还是搞不大清楚，机器结构还不清楚就不能去做机器。

4. 知识库、知识工程

日本人的概念里还有一个知识库，知识库就是各个情报系统。人类的知识，现在都可以用各种方式储存起来，进行检索、存取，这也很了不起。我们从前学东西靠脑子记，要是记不住内容，至少也得记住线索，好去查找。如果你一点概念都没有，那知识的存在跟你没关系。现在有一个知识库，一个情报体系，这就不一样了，所有的知识都可以存起来，受你的指挥，供你使用。这是前几年讲过的问题，这可了不起。从前学者一辈子是靠记的，头发都白了，还在那啃书呢！叫做"皓首穷经"。书之多是"汗牛充栋"。这是形容知识之多，而人去吸取这些知识的能力是有限的。但是现在不一样了，有情报的检索体系、情报的传递体系，在一个地点，你要查任何情报都可以查到。

把那些图像信息处理系统、知识信息处理系统、专家系统，再加上知识库都结合起来，这样一个体系的前途是很使人振奋的，就是人的脑子一下子扩大到这么大的范围，不光是我个人的经验，而且其他人的经验，都可以吸收进来，不光是脑子记得住的东西，脑子记不住的东西，所有的知识都可以进入到这个体系。这使人的智力，不知道要提高多少倍。我认为这就是所谓知识工程，知识的运用成了一种应用工程技术了。我觉得这样一个概念是非常重要的，我认为再把这个概念叫做第五代计算机，或者第六代计算机，就不那么合适了，因为它不是一个计算机了，而是一个智能机，所以我建议为了不要混淆起见，就干脆叫做第一代智能机。这项工作当然不同于其他人工智能的工作，如机器人等方面。

这样，我就提出了两个概念，所谓的第五代计算机就分成两个叉，一个是第二代巨型计算机，一个是第一代智能机。这是两个不同的概念。

5. 智能机的研究

如果刚才我说的第一代智能机的概念可以考虑的话，就要进一步研究这样一

些问题：第一个是知识库问题，知识库问题在我们国家也有些单位在研究，比如说国防科工委的情报资料所，就做了一些初步的工作。但是我觉得这里的问题还不少，比如说现在知识库怎么联成网检索，这在我们国家还是个问题，还有汉字的输入问题，现在争议也很多，有各种方案。这需要统一，如果这么乱下去，将来就要误事了，都不能通用。我觉得这个问题不能再拖了，得由国家来定。将来智能机要和知识库连接起来，检索的速度要求非常高，现在的检索速度太低了，不适应。整个人类的知识，要扫描一遍，把我要的提取出来，所要求的速度比现在的检索速度高得多。知识库问题就这样说一下，将来要有专门的会议来讨论。第二个问题是文字、语言的识别系统，这要认真地做。第三个问题是专家系统，这是我们组成智能机的根本东西。

以上这两个方面同志们已经注意了，我就不在此多说。当然，做智能机最主要的核心问题，还是怎么样把上面说的这些部件，跟计算机的逻辑推理运算结合起来，成为一个完整的体系，比如说专家系统，不是一个专家，而是好多专家共同的经验的汇总，怎样使用的问题也要研究。所以这里至少有四个方面的问题：知识库问题，文字语言问题，专家系统问题，最后一个是怎么把这几方面的问题结合成一个系统、一个整体的问题。这个问题当然很大，所以有人说日本人的这个计划，十年也不见得能实现。但是我认为，这是一件大事，如果说电子计算机的出现是一项技术革命，那么智能机的出现也将是一次技术革命，所以我们要第一，看到它的意义，一定要把第一代智能机搞出来，这是了不起的事情。但第二，又切不可鲁莽从事，犯欲速不达的错误。

4.1.3 对今后工作的几点认识

在前面我们已经讲了智能机的出现将是一次技术革命，我还认为智能机或叫智能机的体系，才是现在说的所谓信息社会，或用我的话说是第五次产业革命的核心问题。因为我们要是没有这个机器，在信息社会，我们的工作量会大到使我们无法工作的地步。我们领导决策都要有一个庞大的智囊团，将来它会庞大到光靠人力难以工作的程度，没有一个智能机代劳恐怕不行。那么，智能机发展下去也会有第一代、第二代、第三代、第四代智能机，那会变成国家智力的一个重要组成部分。领导要靠这样的智能机体系，作为他的工具、他的参谋。当然这样的机器不是代替人，它不可能代替领导的决策作用。机器仅仅是个参谋，这也是明确的，但是没有这个好参谋，再高明的领导也难以工作。

最近一期《哲学研究》有一篇讲领导决策的文章[12]，它描述了现代化决策的进程，说各级领导都要有决策的参谋机构。所以，如果从这样一个角度来看问题的话，智能机就是一个非同小可的问题，这是一件国家大事。

1. 智能机和巨型机是尖端科学技术

前面我讲的这些问题，无论是第二代巨型计算机，还是第一代智能机，看起来都是国家的大事。这么大的科学技术任务，的确是尖端科学技术，是两大项尖端科学技术。国家要组织攻关，不但要打好有关科学技术的基础，要研制出机器，而且一旦研制成功，必定有需求，得投入小量生产。现在，在我们实行对外开放的条件下，我们要充分开展国际交流和协作活动，比如说我们是否参加一些外国搞的第五代计算机的工作？他们现在搞国际性的协作，他们会欢迎我们去参加，中国人聪明，能干嘛！我们也可以从国际交流和协作当中吸取一切可以利用的东西。但也要清醒地认识到：既然是尖端科学技术，它就像原子弹、氢弹、洲际导弹，我们一定要独立自主，下苦功夫建立必要的基础。

2. 规划、计划问题

当然，我们自己内部也要大力协同。以前我们国家搞尖端科学技术是周恩来同志直接领导的，成功的经验就是大力协同。因为这是国家规模的事情，所以要动员数学家、心理学家、物理学家、电子学家、光学家、计算机学家、电子计算机的技术专家，以及思维科学家，结成一个很广泛的集体，严密的集体，说干就真干，无论是第二代巨型计算机或者第一代智能机，都能搞出来。但既然是尖端科学技术，那就要按我们国家近 30 年来搞尖端科学技术的成功经验来办事：统一规划计划，分预先研究、型号研制和定型生产三个阶段来安排全部工作。具体到我们的工作那就要硬件和软件工作结合再也不能分家去搞了。巨型计算机，即第二代巨型计算机比较成熟，可以通过论证，在一段时间后立即开始研制，但同时一定要突击解决并行运算的科学技术，也要安排前面讲到的数学或者计算数学问题，硬件和机系结构问题的研究。至于第一代智能机，根据前面讲的情况，现在还不成熟，只能是预研，但因为它很重要，要认真安排课题。我想这些都需要安排专门的会议讨论。

3. 哲学问题

最后，还有一个问题，就是我们这样说，是不是又会引起哲学家们的担心，说是什么智能机呀，什么代替人的劳动呀，是不是在搞机械唯物论，搞唯心论啦？

我觉得这种担心是不必要的。机器不可能完全代替人。所谓智能机，顶多是干那些人叫它干的事，它只能够代替人脑的一部分工作，只不过是一个好的“参谋”。最后的决策还在人。

从认识论的角度来看，那更是如此。第一代、第二代，第三代、第四代计算

机，现在是第五代，将来到第六代，再发展下去，计算机无非是应用科学的规律而已。要是没有科学规律，人也没有办法。而人认识到的科学规律仅仅是自然界的一小部分，还有很大部分是不认识的。而这一大部分不认识，还是靠人不断的实践去认识，还是靠专家系统才能把它们吸收到智能机里来。再经过若干年，这一些经验的东西上升到科学的理论，那又可以进入到计算机的领域里去了。但是，还有许多人还没有取得的经验，机器是无法吸收进去的。所以，人不会被机器所代替，人还是人，人还是机器的主人。

我认为这里提到的哲学问题是重要的，值得搞清楚。我们以前搞工程技术，大概很少涉及人的精神的问题，涉及的对象都是物质的。但是，刚才说的第二代、第三代巨型计算机，第一代、第二代智能机等等，这些东西都跟人的思维有关系，都涉及精神与物质的问题。所以，我们搞这些工作的同志，也要对哲学问题下些工夫。我们对马克思主义的基本原理、辩证唯物主义、历史唯物主义，还得有一些基本的知识。这样，我们在工作当中可以避免出差错。

选自《思维科学》1985 年第 2 期。

4.2 我国智能机的发展战略问题[①]

去年 8 月初，国防科工委召开过一次第五代计算机讨论会，在那次会上，明确了所谓第五代计算机有两种含义：一，第二代巨型机（比一般的大机器还要大，我曾经给它起个名字，叫 mege computer）；二，第一代智能机（因为智能机以前还没有）。我想，这次会议主要是讨论第二种含义，也就是第一代智能机的问题。所以我发言的题目是“我国智能机的发展战略问题”。我自告奋勇做这个发言，并不是我自以为有什么发言权，在座的都是我国第五代计算机方面的专家，与大家比起来，我的发言权是不大的，我到这里来讲，是因为我认为这个问题非常重要，是国家大事，是关系到我们国家发展的大战略问题，我作为一个科技工作者，应该讲讲自己的看法，请同志们审议，不对的请批评。

第一点，现在中央的方针政策很明确，在今后一个相当长的时期里，要坚持四项基本原则，对内搞活，对外开放，独立自主，和平共处，一国两制，到 2000 年，工农业总产值翻两番；然后，在建国 100 周年的时候，赶上世界先进水平，社会主义建设的方针、政策、路线、方向、目标都有了，下面的问题就是研究具体的战略，也就是我们采取什么大战略来具体实现的问题。

首先让我们来看看今天的世界是怎么一种情况。1981 年 10 月，日本向全世界公布要搞第五代计算机。当时好像对日本的倡议还有怀疑，反应并不很强烈。

① 这是钱学森 1985 年 5 月 26 日在全国第五代计算机学术研讨会开幕式上的讲话。

但是情况很快就发生了变化，大家对于所谓第五代计算机越来越重视。1983 年 3 月 23 日，美国的里根提出所谓 SDI（战略防御倡议）的设想[①]。里根的 SDI 就涉及所谓第五代计算机。1984 年 8 月美国的人工智能学会开了一次讨论会，居然有 3000 人参加，也可说是空前盛会吧。去年 10 月底在东京开了第五代计算机的会，参加的人也非常踊跃，有 1000 人，外国代表有 370 人之多。今年 4 月法国的密特朗又提出西欧的所谓“尤里卡计划”，据报道，这个计划有六项内容：新材料、大型电子计算机、人工智能、强激光与粒子束、大规模集成电路微电子学，还有光电技术。这里也涉及第五代计算机。看看这几个国家，日本开头，接着是美国、西欧国家，他们都这么热心地来搞与第五代机有关的科学技术，而且争夺非常厉害，这就给我们带来了一个信息：到 21 世纪，一个国家要能在世界上站得住，就必须掌握先进的科学技术。他们的争夺都是为了在 21 世纪，能在科学技术上领先。因为只有领先，在世界上才能站得住。对于这个信息，我们在研究如何实现党和国家所规定的目标时，在研究大战略时必须要考虑。所谓先进的科学技术就包括智能机。我打个比喻，在 18 世纪末、19 世纪初进行了一次工业革命，工业革命的内容是大工业，或者叫机械化，这个发展持续到 20 世纪中期，出现了自动化。这样一个发展很可以用来比喻，在 20 世纪 70 年代兴起的电子计算机化到 21 世纪的智能机化。如果说自动化比之于机械化是科学技术、人类文明的一个大发展的话，那么，我们从现在看到的电子计算机的普遍应用，对物质文明、精神文明所产生的影响，就可以想象一下，智能机将在 21 世纪起到什么作用。可以预料，它会把计算机已经开拓的方向推到一个更高的高度，就像自动化把机械化发展到一个更新的高度一样。从这个角度认识，智能机的研制确实是件国家大事，是科学技术发展的大战略，也就是社会主义建设的大战略。所以我们这个会讨论的主题的确是个大问题。这是我要讲的第一点。

第二点，对于目前国外关于智能机的研制情况，如果我们冷静地加以分析的话，我不得不说，情况并不很健康，是一哄而起，热闹有余，扎实不够。英国一家高级科普刊物 *New Scientist*（《新科学家》）对于这种情况很不满意，甚至于开玩笑地说：“有人工智能，难道没有人工愚蠢吗?”就是“有 artificial intelligence，就没有 artificial stupidity?”。去年 11 月 8 日的这一期 *New Scientist* 上，编辑部声明，“我们不相信神仙，不相信天外来客，也不相信人工智能。”它把现在所谓人工智能放到神仙、飞碟一起看待，这是什么问题？当然不是说，英国的

---

① 我们也跟着美国记者，把这个设想叫做“星球大战”，我觉得这是很不严肃的。“星球大战”是美国记者挖苦里根用的词，原是一部电影的名字，电影内容跟里根的 SDI 有点关系，也不完全是那么回事。我以为要严肃地对待 SDI，应该说是里根的“天战”计划；就是陆战、海战，空战，现在又出现个天战嘛！

这个刊物保守了，而是它对现在国际上关于人工智能机的做法不满，这个不满也不全是编辑部的，而是代表了真正严肃的科学家的意见。例如去年 8 月美国的人工智能讨论会，有 3000 人参加，论文只有 70 篇。可见，参加会议的人不少是凑热闹，赶浪潮的。因为智能机与里根的 SDI 联在一起，美国的 DARPA 出钱，就有点像 60 年代搞登月计划一样。那时，美国流行一句笑话，“只要你轻轻地说一声‘空间’这个词，马上就有 100 万美元塞到你嘴里让你咽下去。”这是一种疯狂的状态，有人说去年 8 月美国的人工智能讨论会，如果是一个比较成熟的科学讨论会，比如材料科学的，3000 人参加，就会有 700 篇论文，或者 1400 篇论文，但五代计算机讨论会不是这种情况，不是科学地、冷静地、来对待这个问题。日本政府对新一代计算机好像也免不了带有这样一种作风，去年我们也有代表参加他们 10 月底的会。会上拿出来的东西并不怎么样。因为他们急于拿出东西来，以至参加会的人讲，这叫什么智能呀，这不是智能。我们要清醒地看到这种状况，对此要持批评的态度，我们不能这样干。

第三点，我们要有自己的看法，是马克思列宁主义的看法，是实事求是的。应该认识到，智能机是人认识客观世界、改造客观世界的一次重大突破。因此，要认真对待，而且有一个实际的工作计划。什么叫认真对待？什么叫实际的工作计划？在此可引用毛泽东同志《实践论》中的一段话说明这个问题：“根据于一定的思想、理论、计划、方案以从事于变革客观现实的实践，一次又一次地向前，人们对于客观现实的认识也就一次又一次地深化，客观现实世界的变化运动永远没有完结，人们在实践中对真理的认识也就永远没有完结。马克思列宁主义并没有结束真理，而是在实践中不断地开辟认识真理的道路。我们的结论是主观和客观、理论和实践、知和行的具体的历史的统一。”我们应该用这段话的观点来对待智能机的研制工作。必须把智能机的理论工作和智能机的试制、试验工作结合起来，必须把人工智能的理论和人工智能的实践结合起来。世界上的所谓“过热”情况，就是理论工作做得很不扎实。关于这一点，我亲眼看到一个事实，这是历史了。就是 20 世纪二三十年代，在航空技术领域里的变化。30 年代以前，航空技术有一种重视经验忽视理论的情况，那时的飞机设计师就是靠经验数据，很少用理论。从 30 年代开始，才重视航空理论。那就不单是靠工程师了，而是把航空的工程师和科学家结合起来。这是 30、40、50 年代一个很突出的特点。那时，我自己是做理论工作的，但是和航空工业工程师们是密切结合的。工程师们有什么问题解决不了，就来找理论工作者，理论工作者的任务就是解决实际问题，解决航空技术领域的问题。那么这一时期航空技术突飞猛进的发展，跟理论与实践、工程师与科学家的密切结合很有关系。如果没有这种配合，航空技术在那时的发展是不可能的。这个实践的经验恰恰说明了毛泽东同志《实践论》中那一段话的重要性。这段话是马克思主义哲学的真理，谁要不重视这样的真

理，不用它指导自己的工作，谁就要栽跟头。现在，实际上国外已经在犯错误。他们在智能机方面的问题就出在这点上。

第四点，根据这种想法，在我国智能机的研制工作中，如何把理论和实际结合起来呢？首先是智能机和人工智能的理论到底是什么呢？我认为智能机和人工智能的理论就是思维科学。去年8月，国防科工委在第五代计算机专家讨论会之后，又开了一个思维科学的会。在这个会上，也明确了一点，即思维科学要有突破，而且现在正面临着一个突破，但研究思维科学不是走脑科学这样一条道路。尽管近30年来在研究脑方面有很大的发展。但是脑毕竟是太复杂了，完全从脑科学、神经系统去研究的话，恐怕只有等待。因为现在脑科学家对于脑思维究竟是怎么回事还远远没有弄清，连人的感觉，比方视觉到底是怎么回事也没有搞清，视觉信号怎样进到脑子里这个问题比较简单，但进去之后，人脑是怎么处理这个信号的，搞不清楚。况且思维是比人的感觉如视觉，要高得多、复杂得多的一个过程。因此思维科学如果要等待脑科学的发展，那就无所作为了，再等个几十年吧。因此在去年8月的会上，大家的结论就是：等脑科学来发展思维科学是不行的。怎么办？思维科学要走人工智能和智能机这样一条道路，也就是用机器模拟的方法，如果模拟出来了，即人的思维可能就是这么回事。所以，人工智能、智能机的理论是思维科学，而思维科学的发展也恰恰要靠智能机、人工智能的工作。我们也可以说用思维科学来指导智能机的工作，又用智能机的发展来推动思维科学的研究。这是去年8月两次会上大家研究的结论。这也是具有中国特色的、理论与实践结合的人工智能的发展道路。

再下面我谈的几点具体意见，是我跟今天在座的洪加威同志和马希文同志交谈中所得到的收获，说出来看对不对。一，我们模拟人的智能当然要靠逻辑推理，因为它不是胡思乱想，胡思乱想不叫智能；二，但是也有很多同志在研究这个问题，发表了不少文章，我认为有的文章是向前走了一步。但很不够，或者用简单形象的语言来说，就是这些文章只能够算初级的小聪明，用北京话说，不那么死心眼，有点小机灵，但这跟智能、智慧差远了。还不是那么回事。这类东西在日常生活中可以碰到很多，例如，在外文期刊中，大家可以常常看到这样的广告，比如“你交1000美元包你学会西班牙语”诸如此类的东西，这就叫小聪明。因为这样学的外语，说出来也只是人家能够听得懂，根本谈不上语言的风度、幽默等，那不是一个月1000美元就可以学会的。所以，我认为现在有的工作是必要的，是开始，但仅仅是开始，我们不要把这类工作看作是真正的人的智能了，如果那样看就是误解了。我想日本人去年拿出来的那几个展品，也属于这种东西。据说马希文同志参加会时就整了他们一下。他们说他的一个机器，你在钢琴上弹一个曲子，它马上可以记录下来，而且把乐谱写出来。马希文同志知道它的老底大概是什么，所以也在钢琴上弹了一段，结果使这个机器愣住了，一分钟过

去了机器没有动，五分钟还没有动，后来带着参观的人说对不起，机器大概出了点毛病。所以说这种东西不行，这不是人的智能，人的智能要是这种东西就把人看得太低了。三，问题在哪？我认为要用现在系统科学发展出来的一个概念，也就是简单系统跟非常大的复杂系统（我们叫巨系统）是很不一样的。比如，简单系统的功能与组成这个系统的单元的功能差别不太大。但是如果系统高度复杂，变成一个巨系统，就是组成系统的单元不是几个，也不是十几个，而是上万，上十万，上亿，那情况就大不一样了。根据现在一门新的科学，有时管它叫耗散结构（这是比利时的俄罗斯血统科学家普里高津的耗散结构理论），后来这个理论有了很大发展，改进了，就成了西德的哈肯的所谓协同学，无论是耗散结构还是协同学，都说明当系统的复杂程度达到一定高度时，量变会生质变，就是说在生命现象里，从无序可以出现有序，这就是量变到质变。我把这个概念引用过来，我猜想人的智能是逻辑推理网络的巨系统，它不是简单网络，就可能出现协同学里的协同作用，即所谓“有序化”，是“有序化现象”形成智能和智慧，这是一个质变，是一个飞跃，从没有智能到有智能，从没有智慧到有智慧。这是不是一个研究方向？有些同志做逻辑推理的并行推理工作，但这个工作还没有达到协同学的高度，也就是没有真正研究逻辑推理网络的巨系统。我猜想这恐怕是个很有用的方向。就这么几点：第一点，要靠逻辑推理；第二，不是单调逻辑，是复杂的，非单调的逻辑，不是简单逻辑网络，而是逻辑推理网络的巨系统；这就有一个量变到质变，出现智能和智慧。这是一种设想，今天在会上讲，是向大家请教，是不是这样？总的想法，就是要大大地加强理论工作，没有理论工作的指导，我们人工智能的工作是不行的，而现在从世界上看已经有这个偏差。可能在座的同志清楚，世界上居然有这样一位人工智能专家叫 Feigenbaum，说不需要理论。这是荒谬的。

第五点，当然，我不是说脱离实际的理论，我是说理论非常重要，但理论要联系实际，怎么做，我有个想法，就是能不能把现有的人工智能的成果，如专家系统（这在全世界已有好几百种，我国也有，如模拟中医的）统统收集起来，研究怎样改进，因为现在的专家系统，不管怎么样，总是个开始，只要你改进一点，提高一点就好嘛，可逐步来。我认为这很重要，因为我们的工作不能光许愿，说今年是 1985 年，请您再等 50 年，看我的结果，这不行。我们总要有点中间产品，出点初步结果。改进专家系统这项工作，会不断地有有用的结果出来。现在的专家系统是太笨了，不行，没大用处，你把它改进一点，好一点，可能就有大用。我想到至少有两个用处：现在老中医、老西医很缺，你能把老中医、老西医的经验输入专家系统，那人工智能就很了不起了，我们的医疗卫生水平就可以提高很大一截；对中医来讲，那更是有点燃眉之急了，因为有经验的中医现在年纪都很大了，他们自己也着急，说再等几年他就不存在了，怎么办？所以这样

一件工作是很有意义的。再有一点，比如说大家现在都很重视情报信息，关于这个问题我前几年讲过，说不要把这个问题看简单了，先是把情报收集起来，保存在磁带里，放到信息库里去，然后再有个检索系统，好像事就完了，事实上并没有完，因为存在库里的信息还是一种死的信息，如果有个用户，说有问题要解决，请情报单位提供信息，你从哪去找？前几年我把这个问题称作是“知识的激活”。知识本来是死的，要把它变成活的，有用的，真正是用户需要的，这个问题不简单。现在解决这个问题，是靠有经验的水平比较高的情报研究工作者来做，情报信息工作要发展，还用这个方法就不行了，那要多少研究人员啊？因此，要自动化，这就要用人工智能，用智能机，即便你做出来的东西头一两次不太好，但总比盲目去找情报信息要好一点。其他可以用人工智能的方面多了，比如机器人。所以我建议，重视理论工作。理论研究的方向、目的是什么呢？就是一方面研究基础理论，一方面结合具体的专家系统的改进，出成果。理论工作，特别是在摸索人怎么有智能、思维这个问题上，我认为我们暂时还不必追求高速度，因为一追求高速度，机器就可能很大，一下子不容易做出。只要聪明有智能，慢一点没多大关系，日本也说他现在做到的是一秒几百个逻辑推理。中国古代有句话，叫“大智若愚”。我这个机器将来就是大智若愚的，虽然现在慢一点，但最后出来的结果可以一鸣惊人，了不起，这是打个比方了。刚才我讲的，特别是第四点关于人的智能理论对不对，请大家批评指正。

最后，第六点，我认为，问题如果是这样，那么我国第五代计算机应该怎么做？很显然，这样一项工作，绝不是哪一方面的专家能解决的，当然需要电子计算机专家，还需要人工智能专家、数理逻辑专家，也还要数学家。因为有很多理论，如刚才说到的协同学。协同学的理论就涉及数学里的微分动力体系的理论，我国北京大学的廖山涛教授有个班子在搞微分动力理论。当然还有思维科学家、心理学家，我想还要有哲学家，今天下午我们就要听童天湘同志的报告，童天湘同志是中国社会科学院哲学研究所的，我知道对人工智能、智能机有兴趣的哲学家就很多，还有一位中国社会科学院马列主义研究所的陈步同志，对思维科学也很感兴趣。我们做这个工作，不但要组织各方面的专家，还要尽量利用一切可能的国际交往机会来吸取国外好的东西。将来，我们不仅要参加各种国际学术会议，也可以出点钱参加到人家的第五代计算机的研究计划中去。我们中国人脑子很灵，我相信外国人对于中国人去参加还是蛮欢迎的，参加进去，有来有往，可以吸取人家工作里好的东西。所以要组织国内的专家，也要考虑参加国际的活动，这么大的一个范围，要考虑我们怎样有计划地有组织地去做，严密配合地干。

在这点上，要发挥我们社会主义的优势，社会主义就是要提倡大力协同，为一个国家的目的来攻关，在这点上，我们有有利条件，在过去的 30 年里，在国

防尖端技术上，在发展原子弹、氢弹、导弹、人造卫星的岁月里，我们国家的条件是很差的，靠什么？靠的是由党和国家直接来组织，把分散的力量组织起来，全国大力协同。同志们也许知道，当时有一个“中央专门委员会”，就是来组织国防尖端技术工作的，专门委员会日常主事的是周恩来同志，那时大力协同组织攻关决策的都是周恩来同志，贯彻执行的是聂荣臻同志，是他们以党和国家领导人的身份来组织全国的大力协同，动员了全国一切可以动员的力量，就这样发挥了社会主义的优越条件，把我们本来很弱的科学技术力量组成一个真正攻关的强大队伍，从而取得了成就。这样一种经验是宝贵的。在第五代机方面，我们现在是落后了，但是我们要与日本、美国、西欧等先进国家较量，到 21 世纪，我们不能再落后了。完成这样一个任务就必须利用我们所特有的社会主义的优越条件，协同起来，组织攻关，在这一点上我们是有经验的，我们可以总结过去 30 年国防尖端技术协同攻关的经验，并在这个基础上更上一层楼。过去我们也不是一点弯路没走，现在形势更好了，可以不走那个弯路了。我认为，这个问题非常重要，一个是我们的指导思想：理论与实际相结合，再一个是我们的组织方法，严密组织、协同攻关。我认为，执行这样一个任务必须有一个核心组织，这在国防尖端技术中叫总体设计部，这是由专家领导的一个实体，要用系统工程的方法，完成非常复杂的工作，不是光说说而已。你把专家找来，他们各抒己见，说完走了；意见不一定一致，你还要把专家意见具体化，这种工作必须有个班子，这个班子就是系统工程的班子，是攻关的总体部。过去国防尖端总体部设置有总设计师、副总设计师。我们这个总体部，当然有总设计师，但不完全是设计工作，应该是总工程师。但是我想，我们的工作还有很多是作理论研究的，因此，除设总工程师之外，再设总科学家。所以总体部由总工程师、总科学家来领导，并有专家组成咨询的实体机构。另外还有一个大问题，就是这样一个复杂的机构，要能顺利的运转，思想政治工作，团结工作也很重要，因此还要有党委书记，党委书记要做团结工作，过去国防攻关时也有党委书记，部门领导就是党委书记。

这里，我是把过去国防尖端技术中大规模组织攻关的这套经验向今天在座的同志们介绍一下，我个人认为这是我们国家成功的经验，它是在周恩来、聂荣臻同志领导下创造的，这个经验要用到当前我们这个大的项目上来，而且要再提高一步，大家看行不行，合不合理。

总结起来，一句话，就是中华人民共和国在 20 世纪 80 年代展望 2000 年，21 世纪，一定要攻下人工智能、第五代计算机的关，我们的做法要有中国的特色，要用马克思主义哲学来指导，要有党的领导。

选自吉林省高等教育学会：《高教参考》1985 年第 10 期。

4.3 发展实用性脑科学研究[①]

4.3.1 大力协同搞好脑科学研究

学术讨论要百家争鸣，百花齐放，大家完全是同志式的，平等的；因为正确性往往从错误来的，所以就是讲错了的人，对于最后得到正确结论是有贡献的，对这个观点我再一次宣传。我深深感到在我们国家大家学术讨论总是很拘束；而不是我在国外参加的那一些学术讨论会什么话都讲，就是大名家，大科学家也是随便讲讲的，讲错了就收回，无所谓。这一点在一切学术讨论会当中还应该发扬，没有这样气氛，学术讨论不能很好地正常地进行，而学术讨论不能正常进行讨论，那么学术的进展收获不大。

大家学习和认识了脑科学的新的发展，今后工作怎么开展，还需要各方面大力协同，我们社会主义国家应在各方面大力协同。在这我们可以讨论讨论这个工作，今后在脑科学方面怎么做，要大力协同，要有一个计划，分头去执行，由各方面的主管单位来支持。要有一个整体的计划，现在是两天讨论，出成果，这个成果当然就需要我们的脑袋瓜想新动向，来决策。另外还有一个新的工作，会议完了后还有许多工作要做，那么我们一定努力配合把我们做的事做好。

4.3.2 世界各国在争赛智能机研究

讲讲我的体会，我这个人往往是讲究实效的；我是搞理论的，理论联系实际，相信这一条。今天好多题目我非常感兴趣，最感兴趣的是有个目的，目的是什么？目的就是上次 5 月底我在涿县的第五代计算机研讨会上讲的。是什么问题呢？就是联系到第五代计算机问题，也就是智能机问题，人工智能问题。所谓第五代计算机实际上是智能机。这个题目我认为已经是现在世界争夺的竞赛的一个项目、一个方面。大概在 1981 年日本人开始提出第五代计算机，当时世界响应很冷淡，觉得日本人吹牛，做不到的，后来大概在 1982 年日本人真干，大家都看出来了，既然真干了，为什么不积极呀！大家慢慢地想这个问题，悟出一个道理，日本人想用智能机在世界尖端技术上占先、占领市场，也是靠这个来打败他的对手。根据这个认识，几个技术上先进的国家都起来提出了竞赛。接着而起的是美国，美国自从里根 1983 年 3 月提出来所谓 SDI 战略防御计划和防御倡议之后，规定新一代的计算机，即智能机问题，人工智能问题非常明确。以至有的人挖空心思往里钻，给的钱很多，成了热门大家来干这件工作。据说去年在美国开

① 这是 1986 年 8 月 15 日钱学森在航天医学工程研究所“脑科学研讨会”上的讲话。

了一次人工智能会，参加会的人竟然有7000人之多，但论文很少，只有70篇，可见有许多人是赶热闹去的；如果正常情况下7000人的会，不是70篇论文，起码是700篇论文或者还多2000篇论文；但是7000人的会只有70篇论文，工作没有做，都是赶热闹的人。所以英国的刊物"新科学家"就挖苦，什么人工智能，是人工愚蠢。尽管如此，美国人搞人工智能，智能机是非常热心的。到今年3月份，欧洲讨论对付美国的SDI计划，怎么办呢？要搞欧洲联合的科学技术发展计划尤里卡，尤里卡里面一个最重要的项目就是人工智能。现在人工智能、智能机的问题变成世界争夺的项目。看起来是什么情况呢？我的想法觉得，从18世纪开始的所谓机械化到19世纪末、20世纪初转入到自动化，这在技术上的发展大家都清楚是很了不起的；20世纪50年代开始的计算机化，是计算化、计算自动化，仅仅是计算自动化所带来的影响我们大家都知道。现在人工智能，智能机是什么呢？是计算机化又一个更高的飞跃，这个飞跃就是从机械化到自动化果然不一样，从计算机化到智能机化又是一个飞跃。我觉得能够理解为什么现在世界上这几个技术先进国家都在拼命的争夺人工智能、智能机。要看到现在国外在人工智能、智能机方面的发展。

4.3.3 智能机基础理论是思维科学

这个工作我看是不健康的，因为理论没有多少人搞，有个权威人士如美国的巴克诺权威人士，竟公然说搞人工智能不需要理论，只要干就行了。这个观点是完全错误的，按马克思主义哲学观点，理论指导实践，人要改造客观世界得先要认识客观世界，认识客观世界就知道世界事物发展的客观规律，也就是理论问题。没有理论怎么能盲目去做人工智能工作，做智能机工作；当然，实践是必要的，没有实践就没有一切；但是，实践当中就必须要总结经验，提高到理论；然后用理论再来指导我们的实践，这样一个关系，怎么能说理论不需要呢？所以我觉得有些国外的人工智能、智能机的工作这些做法，至少有一部分人的做法是错误的，是不符合马克思主义哲学的，将来他们一定要碰壁，我们中国人因为有马克思主义哲学的最高概括的认识，来指导我们这个非常重要的21世纪世界争夺的人工智能、智能机的工作，我们必须重视理论。这个在差不多一年以前，震寰同志参加了计算机讨论会，我们在这个讨论会之后接着开了一个会就是思维科学。为什么这个会这么开是有道理的，因为思维科学是人工智能、智能机的理论基础，那么思维科学一看就是这个问题，现在有理论的思维就是抽象思维，这是有理论又有立足点，但是形象思维或者叫直感思维，就没有理论了。现在所有做人工智能工作、专家系统工作，在这个问题上是全然没有办法，就是硬碰，所以在一年以前开的思维科学这个会上就提出来，思维科学要有突破，重要基础是瞄准了21世纪将要发展大量出现的人工智能、智能机问题。所以我们不能就是形

象思维，这个问题现在没门，形象思维怎么变成一门科学，尚有许多问题需要研究。辩证思维一本书写出来了，我想这些问题说了半天还说不清楚，到底辩证思维怎么个辩证法子说不清楚，因为它没有规律。在去年会上大家讨论，有人提出将形象思维暂时作为突破口，怎么突破法呢？有一部分同志说思维是人脑功能，要研究脑科学；还有一部分同志说我就从实践中不断总结上升到理论，从人工智能，专家系统一些工作总结经验也可以上升到理论。这是一年以前的看法，觉得这两种说法都对。

4.3.4 思维科学的基础是脑科学研究

有一个实际问题，一年以前我们知道的情况与脑科学这条路看起来很远。因为人研究视觉已经研究很久了，但是一直到今天视觉是怎么回事，知道眼球、眼神经接收系统为止，处理这个信号说不清楚。去年这个会我们走脑科学这条道路是微观的，这条路需要走，最后要到达的，但这条路走起来很长，现在还很不现实。话又说回来，真正要发展，跟现实道路走总结前人的这些工作经验，在中间找出途径上升到形象思维。今天向老师们请教，我们去年的看法有一个缺点，是完全从神经的作用，单元开始。我想脑科学应该从上面一层一层把它结构搞出来。而这个道路非常远，因为脑的结构太复杂，有人做的这个工作提出来第三条道路。第一条从根本做起，这个道路去年看是对的，今年看还是对的；第二条道路就是从人工智能、专家系统这些工作实践当中不断地总结；第三条道路就是我们这小讨论会的道路。我认为是这样的，就是微观的基础不是建立在讨论上，基础完全是实事求是的。根据我对脑子的认识，先是根据这些微观的东西怎么组成一个脑的思维的模型做起，在这一点上我是有常识的。我们试试看组成一个模型，这个模型对不对我不敢保险。根据这样的模型组建的东西经过理论的计算，得到它应有的功能，我根据这么设想的模型功能然后跟实际人脑功能的测验来比较，当然这个工作不能没有，离开实践不行。再一个问题是你测量什么东西？我觉得有人在这个问题上组建模型，测脑功能，人的脑子里测什么东西，怎么分析它，这就使得第三条道路变成很有希望的一条道路，这是我的认识，不知对不对。因此既然找到很有希望的第三条道路，第三条道路要走，这就是突破，是新的方向。为什么说这个工作重要，这个工作的思维科学也就是人工智能，智能机的基础理论，有一个新的途径，而因为人工智能、智能机是 21 世纪的尖端科学技术，比高技术还高，导弹、原子弹是当时计算技术冒尖的东西；我认为现在到 20 世纪 80 年代看到 20 世纪尖端技术，至少是尖端技术之一就是人工智能、智能机，它们的理论是思维科学，思维科学需要的基础就是脑科学；所以脑科学，思维科学、人工智能、智能机是 21 世纪尖端技术。

我是这么想的，对不对向同志们请教。

选自钱学森：《人体科学与现代科技发展纵横观》，
人民出版社 1996 年 9 月第 1 版。

4.4　语言、思维与智能机[①]

4.4.1　先有语言还是先有思维？

今天的题目是很大的。讲的范围是很大的，也是一个真正的理论问题，全部语言学的问题。还有一部分简单些。讲的这些在我们人-机-环境系统工程当中能够用到什么程度？我们的目标是比较窄的。我认为那两个问题要分开来对待，因为第一个问题确实太困难，非常困难。许多根本性的问题现在还都没有答案。比如说语言和思维的问题，就涉及张瑞钧同志讲的大脑的一些问题。我从前也不懂这些东西，好像希腊哲学家说过语言比思维在前。没有语言怎么思维？今天又有另一个看法，好像是把它倒过来，先有思维后有语言。我想这个问题恐怕还要深入研究。希腊哲学家的说法在某种意义上讲是对的，因为你要思维没有语言怎么思维法，胡思乱想还是什么？所以他也有点道理。但从语言的发展历史看，先有语言后有思维好像也说得过去。这样一个问题我看还要深入研究。我倾向于要强调哪种说法时防止机械唯物论，或者唯心论。不要忘了，我们还是要辩证唯物主义，用马克思主义的哲学来指导我们的研究。具体看语言和思维的问题要用辩证的方法去处理，要争哪个在先，哪个在后，怕要钻到死胡同里去了。这是我的一个观点。也就是说广义地来研究语言学。我是不懂这一行，今天从介绍的情况看，外国人处理这个问题有点机械唯物论。我们要警惕，对大的问题要认真对待，用马克思主义哲学即辩证唯物主义的观点来处理。外国的科学家绝大多数是机械唯物论，他们有局限性。

4.4.2　根据需要进行课题设计

第二个问题比较简单，在人-机-环境系统工程当中分析语言技术要求并不高。首先要有要求才行。刚才讨论当中也列举了好多例子证明需要。我们想一想，要是没有机器，没有通信系统，那就没有要求去分析语言学。人和人如果闭关自守，一个村里的人互相交谈就没有什么必要研究语言学。没有人跟机器的对话，没有电子计算机等也就没有研究语言学的要求。近代的发展都是因为有一个

[①] 这是 1987 年 5 月 11 日钱学森在人体科学讨论班上黄端生作“语言分析及其在人-机-环境系统工程中的地位”报告后的讲话。

迫切的、应用的、解决具体问题的要求所应运而生的。我们要实事求是地解决问题。我们的学问现在能够解答什么问题，那你就解决什么问题，能解决到什么程度就解决到什么程度。难的问题没法解决就暂时放一放。我们就是这么一个态度吧。不能解决全部语言学的问题，可搞语言学的应用。我不知道你们是不是搞这个的，恐怕也只能是如此了。你们不能去研究全部的语言学，那是一个技术性的问题。人-机-环境系统里面语言的问题可以实事求是，可以限制一些，就是用标准的人说的话，别说怪话啦，那么机器也懂不了。诸如这类的工作还是要做的。这两个方面的问题要分开，我们所说对于更广范围的语言学是感兴趣的，但投入很大的力量搞不现实，只能搞应用的一部分，根据现在的语言学进展的程度能用到什么程度就用到什么程度。在应用当中发现什么问题向研究语言学的人提出来，告诉他说：你那套学问还解决不了，还要进一步请你研究。这两部分要分清楚。主要讲这两个问题吧。

4.4.3 智能机与语言

其他有些小问题：在最后的幻灯片上有这么一个意思——智能机一定要懂得语言吗？我有一点不同的意见，智能机可以不懂语言的。智能机要解决的问题比懂语言要广得多，你完全可以把清楚的符号把题目输入到智能机，让智能机去求解。这没有语言的问题。我从前接触过智能机，智能机不一定懂语言，你可以把题目出给机器，用机器能懂的语言出给它，然后让机器解答。别的不说了。

4.4.4 共生的生物演化论

我提个建议。我们是搞航天医学工程的，跟生物有密切的关系。最近看到英国《新科学家》刊物是 1986 年 7 月 3 日，这一期有两篇文章讲一个美国女生物科学家的工作。这个科学家是美国波士顿大学生物系的教授。最近她又被选到美国国家科学院当院士，1983 年选进去的，是很出名的了。她做的工作我认为很有意思。生物的细胞从前说是两种，一种是原核细胞，一种是真核细胞。这位叫琳·玛高利斯的女教授多少年来就认为：真核细胞在原始发生的时候可能是两个原核细胞共生的结果。她提出来的理论叫作共生的生物演化理论。这个理论是进化理论中一个新的方面。我觉得她这个工作特别有意思的是这个理论最近才大部分被得到承认，不是全部是大部分。现在是 20 世纪 80 年代，她提出这个见解的时候是 60 年代初，那时她很年轻，就 20 多岁，还在读博士生的时候了，她的这个说法与当时流行的遗传理论是不一样的，所以一直是受压的。但这个美国女生物工作者的长处、优点是不泄气，你越不同意她就越钻这个学问，找证据。后来她的理论大部分被越来越多地承认了。她在 1983 年被选入美国最高的学术机构——美国国家科学院。她这个工作很值得重视，这是生物进化的一个新的方

面。不久以前她还提出整个地球的大气演变到今天的大气，生物的作用是非常重要的。这也是跟一批地学家不注意或根本没想到生物的作用是有区别的。这是一个方面。学术理论上的新看法值得我们注意。另外一点，她这种在学术真理上奋斗的精神值得我们敬仰。特别是在美国妇女搞科学是很困难的。她碰到那么多困难没有泄气。这一点也确实值得我们学习的。因此我也有感想，当前我们中国的科技界学风不是太好，随声附和非常厉害。敢于真正地探讨真理不屈服的、真正敢于提出见解来的不是没有，但是不多。总的来看我们缺少创造的能力、创造的精神，这也有一点全盘西化的劲头了。外国人说的都是好的，也不想想它到底对不对。这和我们国家的中央领导人讲的精神也是不相符的。我们无论如何要创造一个精神，我们是搞科学的，就在科学的研究上服从真理，其他的都不听，不要怕人反对，他如果反对的有道理能说服我，那么我承认错误，如没有说服我，我就不能放弃我的观点。我有个想法，建议搞生物学的人读一读刚才讲的那两篇文章。这一期上有两篇都是讲她的。读后是否可以在我们这个报告会上给大家讲一讲，我想是有点好处的。

选自钱学森：《人体科学与现代科技发展纵横观》，
人民出版社 1996 年 9 月第 1 版。

4.5　智能机技术是当今我国的尖端技术①

今天我放开讲讲智能机问题，讲得比较宽一些。我认为专家组的同志想问题，也应想得宽一些。

4.5.1　尖端技术

首先我重新提出“尖端技术”这个概念，而不用“高技术”一词。尖端技术的概念，过去毛泽东和周恩来同志用过，具体地说，就是“两弹”，即战略武器技术。那时我们的方针是把战略核武器作为我们国家生死存亡的技术，没有这项技术，我们将是一个被威慑的国家，就谈不上自立于世界各国之林。这里顺便说一句，前一个时期，社会上有些糊涂人，说我们从 20 世纪 50 年代至 70 年代，花那么大力量搞战略核武器是“极左”。我想，说这种话的人，只能说他们无知和愚昧。好在现在中央已明确肯定，我们搞核武器是完全正确的。所以我说，尖端技术是一个有中国特色的词。也有对应的英文词，我在一个广告上看到，英国有人造了个 hypertechnology，即尖端技术。我看，我们可以拿来用。

那么，智能机与尖端技术究竟是什么关系？为了解决这个问题，今天我要讲

① 这是钱学森 1987 年 12 月 15 日在清华大学对“863 计划智能计算机专家组”的讲话。

得宽一点。

先讲讲当前的世界形势。邓小平同志说，今后 50 年世界大战打不起来。我理解，当今世界最大的变化，就是有了核武器。大家知道，核武器曾经是个使人害怕的东西。爱因斯坦曾在 20 世纪 30 年代末建议美国总统罗斯福研制原子弹，到 1945 年日本广岛、长崎原子弹爆炸后，爱因斯坦看到核武器造成巨大灾害，心里很难过，继而变成一位反对核武器的科学家。我觉得，如果爱因斯坦活到今天，他应该感到欣慰，因为，核武器的出现使世界大战打不起来，将不会有胜利者，侵略者不仅捞不到好处，还会引来杀身之祸。看来战争的规律是，开始规模小，越打规模越大，发展到目前这个程度，反而打不起来了，这就叫辩证法。19 世纪，有一位著名的军事家，叫克劳塞维茨，他有一句名言："战争是政治手段的继续。"什么是政治手段？无非是争夺。但是现今的大战争夺不到什么了，不能成为政治手段的继续了。因此，最近几年，美国、苏联的总参谋部对战争的准备，都是越准备越小，变成了打小的局部战争。这方面美国转变得快一些，前些年就在研究打局部战争和冲突事件，这几年苏联也转过来了。大仗虽然打不起来，但是大仗的威胁还是有的。美、苏之间相互威胁，也威胁别人。前几天我在《参考消息》上看到《华盛顿邮报》11 月 29 日有一篇评论，标题叫"核后时代"(post-nuclearage)，我觉得这位记者用错了词，应该叫"核威胁时代"。更广义地说，当今世界各国已经从经济实力的较量发展到用科学技术和人才的力量进行较量，用高技术武器压倒对方、威胁对方，这就是目前这种不打大仗的和平状态。当然，在这种大形势下，小仗还是不断发生的。这种形势，我想用毛主席的两句诗词："四海翻腾云水怒，五洲震荡风雷激"来形容是很恰当的。对这样一种形势的前途我们怎么看？从报纸上见到前几天在讨论"十三大"报告时，夏衍同志有个发言，我很受启发，他说："《共产党宣言》是 1847 年 12 月写成的，经过 70 年，到 1917 年 11 月，苏联十月革命爆发，世界上第一个社会主义国家诞生，人类历史的进程发生巨大的变化。又过了 70 年，到 1987 年 10 月，中国共产党'十三大'提出了社会主义初级阶段理论，明确了今后社会主义建设的方向。"照今天的形势发展下去，再过 70 年，就到了小平同志说的社会主义初级阶段 100 年的时候，即 21 世纪中叶，我们国家十二三亿人口的人均产值接近发达国家了。到那时，社会主义的力量就要压倒资本主义了。

今天为什么给同志们讲世界形势？因为在这一发展过程中，科学技术是核心问题，在国防和军事上也是核心问题，在生产和经济建设中也是核心问题，而智能机技术又是这里面的一个关键问题，是我们国家今后相当长一段时间里的尖端技术，是关系我们国家兴衰的大事。上面我讲了这么多，归结起来就是一句话：智能机是我们国家现阶段的尖端技术，犹如战略核武器是我们国家 20 世纪 50 年代至 70 年代的尖端技术一样，这就是我的认识。

我们不妨回顾一下。美国第一台电子计算机是20世纪40年代搞出来的，当时我也去看了，那时觉得没什么了不起，无非是算得快一些，许多人都有这个看法。一个新事物出现以后，人的认识往往跟不上，这是常有的事。但是到今天，就是这么一种只会算，一点智能都没有，一个主意都出不了的计算机给我们带来了什么？它改变了今天的世界。由此看出，智能机对未来的影响就可想而知了。所以提出智能机是我们国家今后一段时期的尖端技术这个观点是有道理的。现在许多国家都认识到这个问题，大家都在抓这件事，中华人民共和国也要下决心干，就像50年代下决心搞战略武器一样，如果那时我们不搞，也就不会有今天中华人民共和国在国际上的地位了。

4.5.2　智能机的科学技术基础

今天我们搞智能机，和20世纪50年代搞战略武器的条件比较起来，情况应该说好多了。但是从另一方面看，今天搞智能机又比当年搞战略武器困难多了。因为那时搞“两弹”，原理问题、技术问题都是清楚的，就是干的问题，按我们的行话说，就是研制，即工程技术上的设计、研制、试验、定型、生产。20世纪40年代搞计算机，问题也比较清楚。当时，数理逻辑是比较成熟的，二进制位[①]的电子线路也是清楚的，剩下的问题就是工程技术上的集成，或者叫发展。我这样说，并不是小看研制第一代电子计算机的人，而是和今天的智能机比较而言的。到今天，对于智能机，可以说连方向、途径都不清楚。早在20世纪60年代，有的国家提出过搞人工智能，也是想搞智能机，但各方面条件不成熟，搞不出来，所以后来转入搞专家系统去了。现在虽然许多国家在搞智能机，但他们也是众说纷纭，究竟谁对谁错，一时还看不清。所以我们不要迷信洋人，盲目跟外国人跑，要认清智能机技术还是一个突出探索的课题。在这种情况下，我们就要站得高一些，放开眼界，把所有的可能性都收集起来，进行探索研究，问题会逐步明朗的。

自古以来，人们对智能问题就很重视，从各方面进行过研究，论述很多。当前许多方面的工作都在开展。比如脑科学，这一二十年是一门发展很快的学科。还有心理学，特别是认知心理学，研究大脑的认知过程。还有思维科学，特别是形象思维，或者叫直感思维，与智能机有密切联系。总体来说，我觉得要考虑11个方面的工作：

第一是人工智能，包括模式识别、专家系统等，我们要从中吸取营养。但是我看，现在的专家系统还不具有什么智能，它只是把活专家的某些规律照抄下来，笨得很。在机器的专家系统解决不了的时候，还得请活专家来。有的外国人

---

① 这个“位”字是多余的，应该删掉。——编者

讲，下一步的智能要做到遇到问题后能够到众多的专家系统里面去搜索，找到能够解决问题的那个专家系统。这里要紧的是搜索能力。

第二是脑科学，也有人叫模拟神经系统。北京大学物理系的张承福教授是搞这方面工作的。国外关于模拟神经网络的工作有不少成果在一个荷兰刊物 *Phyjika* 上发表。智能机的研究也要从脑科学和模拟神经系统方面吸取营养。

第三是认知心理学。这方面的专家提出的 connectionism 也是强调网络的作用。你们中间的陈霖教授就是这方面的专家，我就不多说了。

第四是哲学，这是胡世华教授提出来的。他对我讲，哲学是哲人之学，自古就是讲智能、讲创造的，搞智能机的人为什么不研究一下哲学。逻辑就是思维的哲学，逻辑的含义是很广的。我认为他的意见是对的。长春中国农业银行管理干部学院计算机应用系的尹奈同志说，从《周易》中可以提出一些设想，叫“智能逻辑”。写了《智能逻辑初探》，不管怎样，也算是一种想法吧。

第五个方面与形象思维有关，是文学、诗词的语言。它不是逻辑的语言，逻辑语言是讲道理的语言。文学家、诗人说的不是讲道理的。他说青山、绿水，意思不一定真是指青山、绿水，他可能指另外的东西。对于这样的语言，我们应当研究。有一位搞美术[①]的哲学家叫李泽厚，他说中国的和尚、道士的庄禅之道中讲的顿悟，那也不是逻辑思维，是另外的一种思维。这里有没有对我们有用的东西？至于灵感更是这样，不是说许多创造来源于灵感吗？灵感也不是一般的思维。

第六是研究科学家关于科学方法方面的言论。大家知道，科学家的创造，有许多并不直接来源于逻辑推理。科学家的创造性思维中有智能的作用。如爱因斯坦的许多议论，他是怎样想出来的？是怎样变不知为知之的？这里面有些东西甚至是不可言传、只能意会的。我们做多年科学工作的人，都有这个体会。

第七个方面是社会思维学。我们在讨论问题时，常常互相启发，互相启发是什么道理？不是简单的 1+1=2，很可能是=100。一下明朗了，冒出个新想法。

第八个方面是模糊数学。我们知道，创造性思维，一开始都不是清晰的，而是由模糊到清晰。因此，我觉得，模糊数学对我们是有用的。

第九个方面是并行运算的重要性，因为人的神经网络就是并行的，不仅高度并行，而且是极度并行的。

第十个方面是古老的数理逻辑，这个领域也有许多新的发展，也不能忽略。

第十一个方面是系统论、系统学。因为我们所设想的智能机是一个很复杂的思维系统。从系统学的观点来看，这样一个系统应避免出现混沌现象，一出现混沌就乱套了，就不是智能机了。

---

① 此“术”字应为“学”字，因为李泽厚是我国著名的美学家，而不是美术家。——编者

以上我讲了这么多，归纳起来就是一件事：智能的思维过程是一个并联的、多层次的、多途径的网络，而且在一开始是模糊的，但它不可能总是模糊，而要从模糊到清晰。创造性的思维，在开始是模糊的，到处搜索，但在思维的网络中，总有一点突然变得清晰了，模糊的概率分布突然变得很集中了，这就是创造，就是智慧，就是智能。

以上我讲了 11 个方面，也许还有更多的方面。我们要在马克思主义哲学指导下进行探讨。不知同志们对目前这种状况有什么评价。反正我的看法是外国人虽然争得很厉害，但谁也说不清楚。美国加州理工学院 CarVer A. Mead 教授搞了一个公司，叫 Synapses Company（视神经突触公司），不搞二进制，搞模拟机，这是他们的想法，也得到美国政府的支持。在这种情况下，我们只能博采众长，在马克思主义哲学指导下进行探索，慢慢地得出一个明确的认识。

4.5.3 突破尖端技术要靠严密组织

最后我要强调的是，智能机是当前科学技术领域的一个大仗、硬仗，涉及的面这么广，大大超出计算机科学的领域，全国要组织起来，大兵团作战，不能分散，不能各自为政。搞战略核武器，打第一个尖端技术仗时，我们是高度组织的，全国一个战场，一支队伍，集中力量攻关，这一点很重要。不是说那时我们没有缺点，但这个经验是很宝贵的，值得今天借鉴。如果我们不很好地组织，互相配合，大力协同，那恐怕是要打败仗的。

再则，搞核武器时，我们国家是封闭的，一切保密，不许对外交流。现在的情况跟那时不同了，实行开放政策，那就要和别人交流。但是，智能机问题又是国际上争夺很激烈的，不能什么都公开发表，能讲则讲，不能讲则保密。

为了得出一个明确的认识，制定一个统一的战略，在当前的情况下，办法只有一个，就是把眼光放开，邀请各个方面有关的人士，组织讨论，发挥集体智慧。讨论中会有不同意见，那不要紧，大家服从真理，错就是错，对就是对，有错就改，错误意见对形成正确认识也是有贡献的。然后，根据大家的共同认识，搞出一个计划。当然这样的计划也不能说百分之百的正确，还要经受实践的考验，不断修正和完善，经过多次反复，最后总会慢慢地形成一个中国发展智能机的计划。

最后我想说一下，既然智能机是我国今后一个时期的尖端技术，是国家大事，那么我们智能机专家组每位专家肩上的担子是很重的。党和国家把这么重大的责任交给我们，我们应当抱什么态度？从前我看过一个话剧，叫《陈毅市长》，描写陈老总调离上海时有一段独白，给我印象很深，台词是：“我在上海这段时间，做了一些工作，听到一些不同意见，有人赞成，有人不赞成。我想，我是尽量按党的方针、原则，按一个共产党员的标准办的。但究竟办得对还是不对，

‘千古功罪，自有评说’。”我觉得，专家组的同志也应该有这个态度。反正我们努力去做，做得如何“千古功罪，自有评说。”然而，我对这件事还是乐观的，因为中国人有个锐利武器，即马克思主义哲学，这是我们之所长，外国人所不及的。另外，中国人不比他们笨，中国人聪明。这两点加起来，就是我们的优势。当年打第一个尖端技术仗时，在座的各位中，有人是作为年轻人参战的，现在你们都是中年人了，有了第一仗的经验，我相信，攻克智能机这个尖端技术的第二仗，是一定可以获得全胜的。

（根据涂元季同志的记录整理）

选自魏宏森主编：《钱学森与清华大学之情缘》第108～113页，清华大学出版社，2011年第1版。

参考文献与注释

[1] 现在承担大运算量的计算机，每秒在千万次左右，中小型计算机，每秒在百万次以下，再小的是微机。这里讲的巨型机是比正常大运算量的计算机大得多的计算机，可以称 mega-computer.

[2] 郭永怀. 郭永怀文集. 北京：科学出版社，1982：22.
[3] 张相麟. 对待新的技术革命. 北京：国防工业出版社，1984.
[4] 苏煜城. 奇异摄动中的边界层校正方法. 上海：上海科学技术出版社，1983.
[5] 周毓麟，符鸿源. 非线性高阶广义 Schi-dinger 型方程的周期边界问题. 数学物理学报，1981，(1，2)：156.
[6] 谷超豪. 谈谈数学与新技术革命. 百科知识，1984，(6)：42.
[7] Caulfield H J，et al. Laser Focus，1983，11：100.
[8] Blogett A J. Scientific American，1983，249：86.
[9] Wallace D. New Scientist，1983，100：668.
[10] 马希文. 什么是理论计算机科学. 自然杂志，1984，(7)：409.
[11] 王元元. 从“S先生与P先生谜题”谈起——模态逻辑简介. 自然杂志，1984，(7)：446.
[12] 玄析. 决策研究，1984，(7)：1.

第五章　论人工智能

5.1　人工智能与思维科学[①]

5.1.1　加强计算机软件工程

同志们，刚才报告人给我们讲了人工智能，我也是来学习的。听了报告，觉得就人工智能这个问题给我们做了一个简明扼要但又很全面的介绍。我听了很长知识，因为他讲的是全世界人工智能发展的情况，这个问题确实非常重要。先是用在计算上的计算机出现后，当时是在 20 世纪 50 年代初，大家也没想到计算机有这么大的作用。经过 30 年的发展，到今天，电子计算机已用于社会的各个方面，它起的作用是 30 年前绝没想到的。现在所说的信息社会都跟电子计算机有很密切的关系。因此，我在别人的启发下，觉得这个问题太重要了，所以我后来提了个建议，大家也许想不到，这个建议到哪去了？建议到国家语言文字工作委员会去了，为什么这么建议呢？因为我们认识到电子计算机的作用就像人发明了写字一样，后来又有了笔墨，有笔有墨就得找地方写，于是又发明了造纸；写字太麻烦了，又发明了印刷。这一系列的发明、创造、发展对人类的文明起了很大很大的作用。大家想想，假如我们没有文字，没有笔，没有纸，没有印刷，那今天的文明会是什么样子呢？恐怕这个文明就不是我们现在的这个样，那就差远了。我认为，电子计算机是 20 世纪的大发明，它对于人类文明、文化的作用就跟古代的发明文字、笔、印刷的作用是一样的。而我们认为，我们国家有很多同志不是这样认识的，不这样认识就会犯错误，到 21 世纪我们就太落后了。所以，那时我们就向国家语言文字工作委员会（当时刚成立）提出建议，希望他们来组织整个电子计算机的软件工作。

5.1.2　人的大脑与电子计算机

这还是光讲的数字运算的计算机，正如刚才报告所讲的，这几十年又有一个新的发展。计算机除了计算以外，还可以有别的作用，他已详细介绍了。其他的作用就是非数字计算的这方面的工作。这当然很重要，因为人动脑筋思考的问题

---

① 这是 1986 年 10 月 20 日钱学森在人体科学讨论班上石纯一作“人工智能的一般介绍”报告后的讲话。

在数字计算上是很小的一部分，更大的一部分不是数字计算。假如将这一领域开发出来，那是不得了的。电子计算机作为一个计算工具，我已把它说得那么重要了，现在要是开发这个新的领域，那作用就比我刚才说的不知大到多少倍了。现在电子计算机已对人类的文明有这么大的作用，如果我们不注意的话，我们在21世纪就要犯错误，在这一新的领域即非数字计算的电子计算机的应用就更重要了。我是用比喻来说明这个问题，今天报告人讲的这个问题是十分重要的。以前我给大家建议过，我们一定要研究人工智能。我们不是常常说人-机-环境系统工程吗，我也在这儿讲过多次了，这个人-机中间还得加一个东西，就是电子计算机。这个电子计算机不光有数字计算的功能，还要有非数字计算的功能。也就是所讲的专家系统这些东西。这样才能最大限度地发挥人-计算机-机器-环境这个系统里面人的最大作用。这个问题很重要，难得请他给我们做了这么一个报告。我们要继续研究这个问题，我们这个所也有搞计算机的人，你们容易搞嘛，组织起来，要攻一攻这个题目，因为将来你们这个人-机-环境系统里就包括这个东西。今天给我们开个头，启发一下，让我们大家初步了解一下这个领域的工作，全世界的，我们国家的，他都介绍了。不久前我收到一本书，是人民出版社出版的，作者是两个人，一是吉林大学哲学系的，还有一个是中国科学院沈阳自动化研究所的，他们两人合写的一本书，书名是《人工智能与认识论问题》，实际上这本书只是仔细介绍了人工智能的一些工作，有300多页。他们让我看看这书，看有什么意见，我看了这本书就跟他说，你这本书挺好的，是本入门的书，让大家知道知道人工智能是怎么回事。但是你把它提到什么认识论，那根本说不上，因为人工智能的理论都不清楚，还谈得上哲学的认识论吗？那根本谈不到。他要谈的话，也无非是一个很简单的一个问题，即机器能不能代替人的一部分脑力劳动或代替得越来越多，就是这么个问题嘛。这个问题当然也可以深一步说说，即你是坚持马克思主义哲学，还是搞机械唯物论。要是坚持马克思主义哲学，坚持辩证唯物主义，那么人的思维也不是神秘的。当你知道它的规律后，机器当然可以代替，但至于说人的思维有朝一日能由机器全部代替，我认为这个结论还是慢点下。因为人的脑子是发展的，机器能代替一部分工作，它不去做这种简单工作了，人脑就又发展了。也有同志讲，从原理上讲机器是可以代替人脑的，我说这个结论也可以，因为人脑也是物质的嘛。但是什么时候做到呢，无穷远的时候，因为人脑在发展，是人脑的作用来造机器，机器总比人脑差一点。说机器最后能达到人脑的作用，也可以这么讲，但是什么时候呢？遥远的未来。要说哲学问题就是这么一个问题，现在解说的就是这么几句话，再多讲就讲不出来了。所以他俩的这本书的书名就有问题，我也不客气，他们让我提意见，我就提这个意见，我说你这个书名就有问题。

5.1.3　专家系统

人工智能到底是怎么回事？现在全世界正在做这方面的工作。真正的智慧是什么东西，这个问题没有解决。今天报告也讲了，这个问题要解决得靠思维科学。我很赞成，是这样的。要说现在所有的人工智能的工作，刚才介绍得很广泛的一些内容，我认为实质上还是一个抽象思维或逻辑思维的工作。所谓专家系统，还是要专家教。专家教的实际是一个逻辑推理的系统。假设怎么样，结果怎么样，告诉的是这个，结果如果不符合你的题目，再从另外一条路去找。所谓专家系统，那些中医的诊断系统，就是大夫将自己的经验说出来，也甭问机器为什么是这样，那它不能回答你。就这样，你听话就是。现在的专家系统大概都是这类的东西。我可以举个例子，比如有一个很简单的专家系统：有一个火力发电站里的锅炉要粉碎煤，煤的粉碎机工作得好还是不好，老工人有经验，他说他用耳朵一听就知道工作正常不正常。后来这个专家系统怎么样呢？好，那我就测这个噪音的频率，把频谱测出来然后拿工人说运转的好时的频谱与工人说运转的不好时的频谱一比，一比当然有差别。那好，他说好的频谱那就是正常的，旁边摆一个声学的分析议，一离开他说的好的频谱时就发警报，要赶快修，这就是专家系统，专家系统就是怎么回事。所以一切专家系统还没有跳出抽象或逻辑思维的框框。无非大专家经验多一点，点子多一点，他告诉你不是这样就是那样，你要查找，找到了就行了。也有很复杂的，比如刚才报告讲的我国大数学家温俊[①]搞的平面几何非常复杂，它证明了许多原来平面几何里向来没有的定理。要说透了，它就是一个逻辑的推理，没有什么奥妙，很简单，就是一个逻辑推理系统。还有今天讲的四色定理。那个证明是很长很长的。一般人没有那个耐心去做，但机器会去证明。我举个简单的例子，现在计算圆周率 π 的位数，已算到令人吃惊的地步，已算到百万位的数值，这不是人算的，你说靠得住靠不住？最后你还得说它靠得住。因为机器是听人的指挥算出来的。我认为现在所有的专家系统，从本质上讲，还没有跳出抽象逻辑思维的范围。当然我不是低估专家系统的作用，已经用逻辑推理的东西（用得更广泛的）加上所谓可以做的工作可能也是属于各式各样的专家系统，那很有用。比方说，一个武器操作战斗员，他用武器用的比较好，你把他这套经验置于专家系统里，一个新战士一下子就能全部掌握这个有经验的战斗员的作用。那就不得了，现在的武器这么复杂，你什么时候才能学会啊？你用专家系统，很快就能学会。所以很重要。

---

① 根据内容判断，“温俊”应为“吴文俊”。此文系根据录音整理，“吴文”与“温”发音相近，恐怕是整理者将其混淆。——编者

5.1.4 人工智能的成败在于思维科学的进展

但是从理论上来看，这仅仅是很初步的东西，报告人也是这个意见，他这个意见我是同意的，就是说，这样的做法（实干）还要加上理论的工作。刚才也讲了，世界上有不同的意见，鼎鼎大名的费根鲍姆就说过，用不着搞什么理论，实干就行了。刚才还举了他的一个例子，即飞机是怎么造出来的？我要给他扣帽子，他就是经验主义。这不是马克思主义哲学，我管你美国人，你就是天大的人物也是经验主义，你有什么了不起。我们不是这样看问题的嘛。从马克思主义哲学看问题，总是要理论和实践相结合，实践要在理论的指导下，而实践的发展也必然会提高理论，这是两者不可偏废的。人工智能这个问题是什么理论呢？就是刚才说的我们要突破的，就要突破过去一直走的（也不得不那么走的）抽象逻辑思维的框子，到什么程度呢？就是形象跟直感思维。要说人的思维，不是先有逻辑思维或者抽象思维，人先有的是一个形象跟直感思维，小娃娃怎么认识他妈妈的，那是逻辑思维吗？根本不是，是形象思维嘛。小孩的学习大量的是形象，不是抽象，所以人的脑子从很早就会用形象思维的规律。当然形象思维到了高级阶段，如科学家的形象思维就变成了直感思维。大科学家有个学生，学生问他，你怎么想出来的，他说这没法教，你慢慢学得了，学到火候了，你也就会了。这是高级的形象思维。但是，不要老看到这个高级思维很神秘，很了不起，不是，小娃娃就是形象思维，但这里有很大的区别，形象思维与逻辑思维不一样，现在重要的是把这不一样找出来。近两年我与一些同志讨论这个问题，觉得这里的一个问题就是，形象思维是多路并行式的推理，它绝不是从单线去考虑问题，但哪一条线可以出结果呢，并不清楚，是模糊的，在思维的过程中从模糊到清晰，这时结果就出来了。所以后来我又找了北京师范大学数学系搞模糊数学的，他们也搞过协同学的问题，协同学就是大的网络。我跟他讲了，他很快就接受了这个看法。我们现在认为，形象思维理论的道路恐怕是这么一条道路，即模糊数学多路并进的推理，要发现在推理的网里有一个清晰的点，这个点就是结果。现在这个工作已经开始了，有人组织了两个讨论会，这两个讨论会攻的问题就是刚才所说的形象直感思维的理论。这方面的工作如果有点进展的话，那是了不起的，也就是说，人的智能到底是什么，可能就会摸出点门道来了。一旦摸出门道来，就可以造机器了，那时的人工智能机器要比现在的高明多了；真正有点智能了，不是现在的人工智能，老实讲现在的人工智能机器也智能不到哪儿去。英国人的新科学期刊上有个漫画，漫画上是两个人的对话，其中一个人说，现在的人工智能叫得很响啊，另一个人就说，是人工智能呀还是人工愚蠢。意思是他认为不是人工智能而是人工愚蠢。这话说得有点过分了，实际上讲的是将来真正的人工智能还有待于思维科学，特别是形象和直感思维的思维科学的发展。那是有希望的，现

在也看出点门道来。我们的这些看法还没有公之于国外，不知道他们怎么看。国外现在还没有这种看法。今天借这机会跟同志们说说，这在以前我说过的东西上又有点发展。至于说两年多以前我们开过的那个会上也说出了三种思维模式或者人的思维模式：抽象逻辑思维，形象直感思维和顿悟思维（灵感）。假如你摸到了形象直感思维，那实际上是发生在人的潜意识中，无非是如此，即你脑子不知道，人脑的潜意识在起作用，最后还是一个心理学的问题，那不是思维科学的一个主要问题。我的认识就是这样，我也学了不少东西，我学了以后的一些感受就是以上所说的那些话。不知我讲的对不对？不对请你批评。

选自钱学森：《人体科学与现代科技发展纵横观》第 396～402 页，人民出版社 1996 年 9 月第 1 版。

5.2　专家系统与思维科学[①]

5.2.1　谈谈语言与思维的关系

刚才报告人讲得很好，全面地给我们介绍一下人工智能、专家系统这方面现在的概况。我听了以后首先有这么一个问题，是刚才介绍的情况不少跟这个专家系统、跟人的语言有密切的关系。我就想人的思维跟语言有关系的，这就产生一个问题，将来我们考虑专家系统的时候，是用中国的语言还是用英语，好像有点问题。我个人的体会是这样的，确实有点区别，用英语好像脑袋瓜是一个领域在用英语；用中国话脑袋瓜是另外一个部分好像在处理这个思维；我在国外就有这种体会，要说英语的话不是先想中国话把它翻成英语再说下去，不行，你整个思维过程就是英语，反过来要说中国话不是先从英语翻成中国话然后说出来，而是直接的中国话思维的处理。最近我爱人到美国去了一个月刚回来，这几天她跟我谈话里面英语字特别多。我说你怎么啦，你到底说习惯了，改不过来了，所以人的思维跟语言有密切的关系。中国话跟英语是不大一样，将来的专家系统你到底是说中国人的专家系统还是说英语的人的专家系统，不一样，因为语言跟思维是有密切的关系。

5.2.2　再谈我对人工智能的认识

我对于专家系统、人工智能的认识从两年多前我们开过一个思维科学的会开始的，今天在座的同志也有和我们一起开过会的。那个时候我们大家讨论认为人

---

① 这是 1986 年 12 月 22 日钱学森在人体科学讨论班上王树林作“专家系统知识及应用”报告后的讲话。

工智能包括专家系统这部分，这是一个工程技术性的工作是应用，最后要出一个机器，今天报告讲得也是这个意思。这种工作，我觉得现在的人工智能、专家系统的工作，好像有点像18世纪末出来蒸汽机似的，那个时候并没有蒸汽机的理论，瓦特发明蒸汽机，瓦特没有理论，是一个能工巧匠。那个时候也不可能有理论，热力学都没有建立，所以就是干，实践当中总结出一些经验性知识就搞出来了。今天人工智能、专家系统也是这种性质，说不上有一个系统的理论，这个系统的理论现在还没建立起来，它所依靠的基础知识——思维学还没有建立起来，思维学仅有抽象的逻辑思维，这是比较有学问的，涉及人的思维的部分都没有。所以两年前我们开会认为现在思维学的突破口就在于建立了一个形象直感思维的规律，能够找出规律来是不容易啊，已经两年多了没有办法。最近这两年时间，对这个问题要说稍微有一点进展的话，就是觉得形象直感思维跟抽象的逻辑思维不一样的地方是网络性的、并联处理的；而且这里面有一种模糊性在里头，人的形象直感思维都是从许多方面同时进行，开始的时候是很模糊的，所谓得到结果就是在这个网络里头的某一个部分忽然出现一个很清晰的形象，好，这个问题就解决了，那么人的创造过程也就是这么一个过程。

现在只是有这么一点体会，就是说如何来进行这个研究，就要用系统学的方法用网络处理，用系统来处理；而且要用模糊数学这些概念，但是，这只是一个想法，想对了还是想错了有了这么一点方向。

选自钱学森：《人体科学与现代科技发展纵横观》第412～414页，人民出版社1996年9月第1版。

5.3 再谈专家系统[①]

刚才听了报告人讲有关脑的信息活动和知觉心理，这是个重要问题，对我也是个学习。听了以后，了解到心理学家对这些问题是怎么做的，觉得这些工作恐怕都是研究人在接受信息之后大脑是怎么处理的，最后作出判断，作出决策。对这个复杂的过程，我们至今还没有一个科学的方法直接去观察大脑的处理细节。在这种困难的条件下，也要想办法解决这个问题，这有多种途径。今天介绍的是一种途径。我觉得，你做这种工作，你脑子里总得有个主张，猜想这个过程是什么，然后根据猜想制造一个模型，再根据这个模型做工作，最后看能不能找出个规律性。我不懂这个问题，听起来报告人讲的这个还是个尝试，是一个开始。为什么呢？因为最困难的就是什么叫信息还没有解决。比如，我们接收了一个声

① 这是1987年3月9日钱学森在人体科学讨论班上谢宝生作“脑的信息活动和知觉心理”报告后的讲话：《努力研究，揭开人体奥秘》中的第一节。

波，这个声波到底是噪声呢，还是有用的信息？这个恐怕跟每个人的生活经验有密切关系。比如说：中国人说中国话，对不懂中国话的人来讲是不是信息？比如说：中国人听到中国话，但是，你不懂他的口音，那这个到底是信息还是噪声？因为，你听到以后，抽不出一个信息量。所以，这里头的一个问题，就是什么叫信息，那就看你是不是能用统计方法进行描述。两个都是如此分布？这行不行？在我们现在还说不出的情况下，各种方法都可以实验一下。最后找结果来判断。而且，我们所做的许多工作都有具体目标，而且要求不太高。我们要研究人在操作当中的一些规律性东西。这种操作比起人的思维都是些简单的东西。从这开始，我们慢慢地摸索人脑对接受的信息量是怎么反应的，至少可以做点初步的工作。就是说，你所做的这些工作，实际上就是一个专家系统。专家系统就是把人脑的思维过程大大地简单化了。今天，我们听的无非就是一种简单化的方法。你要再复杂一点，还得用这个专家系统，判断并想办法把它们的关系联系起来。前几年说有几百种专家系统，实际上，这个“专家”是个很局限的部位。这些工作都在做，你所研究的人与机器，人与环境，总要接触到信息及其判断的规律。这个工作要做，但还没看到有很高明的办法。我认为，困难就在于什么是信息还不好说。在这种困难的条件下，各方面的工作都可以尝试。前几次，我们请过科学院计算所的人来讲过。他讲人机接口的问题，那也跟这个有关系。这方面，我的一点感想是值得做，要做下去。现在看来，谁真正解决了什么问题，恐怕还不到这个程度，都在尝试。这是我想讲的一个问题。

选自钱学森：《人体科学与现代科技发展纵横观》第 432～433 页，人民出版社 1996 年 9 月第 1 版。

第六章　论情报资料库技术

6.1　情报资料、图书、文献和档案工作的现代化及其影响

毛主席曾在1969年精辟地指出技术革命不同于技术革新，技术革命是指技术上的巨大变革，它对生产力的发展以及对整个社会带来重大的影响；毛主席还举了三项技术革命的事例，即18世纪的蒸汽机、19世纪的电力和20世纪的核能。我们根据这个非常明确而严密的技术革命概念，提出电子计算机也是一项技术革命，因为电子计算机不但大大推动了生产自动化，而且在广泛的领域内电子计算机代替了人的一部分脑力劳动，以致对现代社会发生了深刻的影响。对这样一个认识，有的同志同意，也有些同志表示怀疑；还有少数同志强烈地反对。但事情总是越辩越明的，应该欢迎怀疑的人、反对电子计算机是技术革命的人，他们可以促使认识深化。

本文是讲情报资料、图书、文献和档案工作现代化的，但也可以进一步说明电子计算机是毛主席所说的技术革命，因为在这方面即将到来的变革是伟大的，深远的。这里提出的有些观点并不成熟，写出来请大家讨论，以便弄清这个方面现代化带来的影响。

6.1.1

人是通过实践认识客观世界的，首先是感性认识，然后再上升到理性认识。但在人还没有发展语言这个工具时，一个人的认识也只有随他个人的死亡而消失，无法累积。当人类有了语言，就使得一个人的认识可以转递给另一个人，实践经验和由此而来的对客观世界的认识就免得因人而去，得以保留，得以累积。后来又发明了文字，发明了纸，发明了印刷技术，这些都被认为是人类发展史上的大事，因为他们大大方便了、加速了人类经验以及知识的累积，创立了越来越丰富的人类精神财富。

图书、资料和文献的积累是随着人类脑力劳动量的增长而不断加速的。在古代，一个箱子就差不多把书籍都装下了，到了后来，我们的前人早有汗牛充栋之叹。及至20世纪，图书、文献、资料，还有档案，更是飞速地累积着，简直可以说是爆炸性的。我们仅以科学技术文献中的一小部分——化学文献为例，光是浏览一下世界上一年内发表的有关化学的论文和著作，一位化学家每周看40小

时，要读48年。这就清楚地说明要像过去那样，一位学者、作家完全靠自己去查所需的图书、资料，搞“单干户”的工作方式，已是不太可能的了。你要查图书、资料，你就没有时间搞研究、搞创作；你要搞研究、搞创作，你就没有时间查图书、资料。

一个人搞不来，就要求社会分工，于是产生了一种新的职业，这在科学技术界叫情报工作者或情报专家，在图书馆叫图书馆工作者或图书馆专家，在档案馆叫档案员或档案专家。这是一个近代社会的行业。我们自新中国成立以来，国家十分重视情报资料、图书、文献和档案工作，全国已有一直分布到边远地区的各类专业单位。并且组建了一支数量相当大和具有一定水平的专业队伍。

但总的来说，我们在这方面的工作离现代化还很远。就以科学技术的情报资料工作而论，我们直到现在的一个大问题就是科学技术人员往往不能直接使用外文资料，要靠情报资料人员把外文译成汉文。所以我们的科技情报工作队伍中有相当一部分是译员，即能译科技专业文献的外文翻译。我们的又一个问题是缺乏复制设备，因为我国至今还没有一个部门主管复印机的科研与生产。每年虽然花了不少外汇进口科技图书，但对要用它的人来说，还是“凤毛麟角”，弄不到手。这就使得科技情报人员辛苦地发扬背篓商店精神，送“货”上门；在交通不便地区，硬是把文献资料放在背篓里，跋山涉水，送到科技人员手里。还有一个问题就是科技情报工作，部门分隔，地区分隔，消息不通，各自为政。这就导致工作重复，一篇重要科技文献，你也译，我也译；你也印发，我也印发，把本来不足的力量又浪费了不少。

科技情报资料工作的落后状况也代表了其他方面，所以情报资料、图书、文献和档案工作的现代化是势在必行的了，不然我国虽有这些不怕苦、不怕累、不怕死的情报资料、图书、文献和档案人员，工作还是跟不上加速实现四个现代化的需要。

6.1.2

什么叫情报资料、图书、文献和档案工作现代化？我们先从具体工作讲起，然后再讲如何组织全国的工作，以及和全世界的工作协同起来。

对情报资料、图书、文献和档案来说，也许第一个问题是收集的问题。但是，这个问题在建立了无所不包括、没有任何检索查看阻碍的情况下，可以自然解决，用不着我们担心查不到所要的图书、文件。

第二个问题是情报资料、图书、文献和档案的内容，也就是材料的存储或存储技术。其实用脑子记是存储，写在纸上是存储，印成文件、书刊也还是存储。这些古老的存储方法有个优点，就是读取很直接，不需要其他辅助设备。但它们也有一个共同的缺点，就是存储的密度太低，存储物质量太大，从前还不过是

“汗牛充栋”，现在则是一列火车也装不下，一所大楼也容不下。解决的办法就只能放弃直接阅读，用光电设备，同时设法大大增加信息存储的密集度。一类技术是用摄影，把一页纸面缩小为一颗豆粒大小的胶片面积，进一步再把几十页纸面的内容缩小为一颗豆粒大小的胶片面积。现在的缩微胶片，已能在 105 毫米×148 毫米的胶片上录下 3200 页 16 开的印刷品。另一类技术是用磁带记录，这我们大家都很熟悉，一卷 360 米长的磁带一般可以录 40 分钟的讲话，即大约 6000 字。但这是比较低的密度，高密度的磁带技术可以在半个手掌大的一卷磁带上，录下一个人一天讲 8 小时，讲 250 天的内容。这些新的信息存储技术比起古老的办法，其所需存储物质量，就可以成千上万倍地缩减，一个大楼的库存可以缩小到一个柜子就放下了。

但这还不是极限，我们现在只不过把记录单元缩小到微米大小，将来电子技术再发展，还可以把记录单元缩小到原子尺寸，即埃的尺寸，再小一万倍。到那一步，存储物质量将再比现在缩小几亿倍以上。所以一旦我们不要求直接阅读，存储技术就可以大踏步地发展，我们现在只是迈出几小步，更大的变革还在将来。

既然放弃直接阅读，就要有一种装置把记录在存储物质上的内容显示出来，让人能阅读。显示也包括翻译，因为存储记录可能是编码的，不能让人直接读编码，要译成语言、文字或图像。这种装置就是通常所说的“终端”，实际上它是具有各种电子控制的彩色显像管，是彩色电视接收机一类的电子设备。它往往有打字和控制用的键盘，也有一个与存储库通话的电话。要阅读的情报资料、图书、文献和档案就在显像管上显示出来，也可以接上复制机，制成文件。这方面的问题可以归纳为第三个问题，即终端技术。

现在讲情报资料、图书、文献和档案工作现代化的第四个问题，也是核心问题，不解决它，现代化就行不通。这就是检索问题。因为尽管存储问题解决了，如果还是老办法通过终端把库存一项一项、一件一件调出来查阅，前面讲的一年出版的化学文献要查看 48 年的矛盾还是无法解决。但是，电子计算机的出现为我们提供了自动化检索的可能，因为一旦制订了电子计算机检索时机器工作的方法和程序，电子计算机的速度可以比人快上千万倍。这样，查看一年中发表的化学文献就不要 48 年了，只用不到一分钟就行了。所谓方法和程序就是情报资料、图书、文献和档案存储库内容的组织，即每一件材料的编码，库存的排列，计算机工作时查编码的程序，以及提取内容的程序。这一套已经成为一门专门的科学技术，叫检索技术。

现行的电子计算机检索制度是当工作人员在终端上与信息库接通后，要求某一方面的材料，电子计算机按预定程序工作后，在终端上先显示出材料的题目；工作人员可以选其中若干项，第二步电子计算机再调出选定项目的提要，再在终

端上显示；工作人员可以就此满足，或再进一步要那一项文件的详细摘要，再在终端上显示。最后工作人员也可以要附设于终端的复制机，制出材料的复制件。一般整个上述过程只要几分钟到十几分钟。

现代化的最后一个问题是通信问题或通信技术。情报资料、图书、文献和档案的存储库是一个投资项目，不可能谁人都有，必须设于中心地点；电子计算机也是一个投资项目，也只能放在中心地点。而终端又必须在使用者身旁才方便，这就要有从终端到电子计算机、到中心库的通信线路。通信线路把终端、电子计算机和存储库组成一个体系，这个体系就是情报资料、图书、文献和档案的自动化体系。前面已经说过，存储技术还有很大的潜力，还可以大大提高，自动化体系中其他两门技术，电子计算机的检索技术和通信技术也同样可以大大发展，所以现代化情报资料、图书、文献和档案体系还可以进一步发展，承担起比现在能想到的还要大得多的工作。

6.1.3

虽然上述以电子计算机检索为核心的自动化体系出现也不过十几年，但目前已风起云涌，发展十分迅速；有的是专业化的，以某一特定领域为界限的，如化学文献；也有以某一单位的业务为界限的，如美国《纽约时报》的资料库；也有以某一社会活动为范围的，如零售商情等等。因为本来情报资料、图书、文献和档案中的绝大部分是没有国家界限的，各搞各自的，会造成重复，所以自然而然地出现国际的联系。西欧国家就是如此，某一个国家的工作人员可以通过体系的通信网去调看另一个国家存储库的材料。由此看来沟通全世界，形成一个全球性的体系是大势所趋。这里首先出现一个标准化的问题，即检索用的编码要标准化，不然国与国之间，甚至存储库与存储库之间不统一，不便使用。至于人类语言的标准化恐怕不是短时间内能实现的，所以我们为了能充分使用情报资料、图书、文献和档案的自动化体系就应该多学几门外文；学外文应该成为教育的一个重要内容。当然，将来终端技术有了发展时，终端可以自动地把外文翻译出来。

对我国来说，汉字的编码是个必须抓紧解决的问题。对此，我国科学技术情报工作人员早已重视。已开过多次会议研究，但因汉字结构自成一格，没有可资参考的材料，大家各抒己见，提出的方案不下数十种，有的直接用拉丁字母拼音，有的用汉字笔画，有的用字形号码，有的用形旁声旁等等，还定不下来。因为汉字编码又涉及将来汉字的自动化打字，汉文的自动化排字，从而更进而涉及汉字的简化，这是一个很复杂而又十分重要的问题，一旦定案，就不宜轻易改动，是百年大计。最好要由国家召集各有关方面共同研究，不能只靠科学技术情报工作者来选定汉字编码方案。

既然要参加世界网，那就有一个参加什么的问题，总有一些是我国地区性

的，不必参加世界交流的。这个界限分清后，才好搞编码，搞存储库的安排。在此基础上，我们要搞国家情报资料、图书、文献和档案体系的设计或规划，建什么样的存储库，设什么样的电子计算机，以及通信线路的建设，终端的大体数目等。而这一切又必须同已有的老的设施，诸如图书馆等以及世界的体系衔接起来。这是一个庞大的“系统”，它的设计、规划、建设和运转，以及逐步改进将是一件大事，是一种系统工程[1]工作。从系统工程的技术角度来看，情报资料、图书、文献和档案都是一种“信息”，这种系统工程的目的就是信息的存储、信息的检索和提取，信息的传输和信息的显示，所以这整个技术可以称为信息系统工程。

为了建立这个现代化的信息系统或信息体系，我们一定要逐步发展我国的某些工业，如存储材料工业、终端工业、复制机工业等；也要培养“信息科学技术”的专门人才；现有的图书馆、档案馆、情报资料单位的工作人员还必须培训和学习这门新技术。他们是信息专家或信息工程师，是信息体系的建设者，也是使用中的向导和顾问。

在打好我国基础后，我们要考虑参加全世界的信息体系。世界信息体系所要的通信道，看来最宜用通信卫星，它信道质量好，通信距离远，建设费用低。也可能是这个原因，有人称航天技术的当前阶段为航天信息技术时代。

6.1.4

当我们讨论了建立现代化的情报资料、图书、文献和档案信息体系之后，让我们想一想这将是多大的一个变化。向来人自一生下来，都在用脑子记住以往人类和自己社会实践的经验和由此而产生的知识。对一个脑力劳动者来说更是如此。古人夸一个学者，说他博学强记，可见在脑子里记住学问的重要性。但一个人记得住的东西虽有不同，有人多些，有人少些，但总有限，比起人类千百年累积的知识量，不过沧海之一粟，所以前人也说皓头穷经。但在将来，我们将从这一繁重的脑力劳动中彻底解放出来：查阅材料可以做到如同自己脑子记住它一样便捷，那就不要去费脑子记了，要时用终端就是了。

我们再深思一步：什么是情报资料、图书、文献和档案？它包括不包括文学？当然包括。它包括不包括绘画？也包括。它也包括音乐乐谱、录音，包括录像……它也包括文物档案。甚至通过全息摄影，它也可以包括造型美术，如雕塑等。那么，我们所设计的信息体系简直可以包括全部人类千百年来创造的，而且还在不断创造的精神财富[2]。而这全部精神财富可以由我们每一个人随手调用和享受。这不但是从旧的脑力劳动中解放出来，而且是获得了一个伟大的新世界，从来未有的高度文化的新世界。难道这不是天翻地覆的变化！

脑子不要花在记忆上了，那脑子还干什么？从繁重性记忆脑力劳动解放出来

的人，将有可能把智慧集中到整理人类的知识，全面考察，融会贯通，从而能搞更多更高的创造性脑力劳动。人将变得更为聪明，人类的前进步伐更将加快。

这一变化也将使传统的教育制度发生根本的变化，学习内容不同了，除了掌握好语言文字和外文，重点将是整体，不是枝节，学是要学好基础，学科学技术的体系[3]，学自然科学的体系，学社会科学的体系，学哲学，这是理论学习。另一方面是运用这些理论的技巧或手艺，这包括脑力劳动和体力劳动，这也是必要的，不然我们还是不会改造客观世界，只能空谈，不务实际了。但我们看得出来，脑力劳动和体力劳动的差别将大大缩小，趋于消亡。这就是现代化情报资料、图书、文献和档案信息体系所带来的影响，以及它的进一步发展所显示的前景。恩格斯说过："摆脱了资本主义生产的框框的社会"，能"造就全面发展的一代生产者，他们懂得整个工业生产的科学基础，而且其中每一个人都从头到尾地实际阅历过整整一系列生产部门，所以这样的社会将创造新的生产力"[4]。所以这个前景就是走向共产主义。

触发这一伟大变革的，仍然是电子计算机。这样看来，难道电子计算机不是毛主席讲的能与蒸汽机、电力和核能并列的一项技术革命吗？

选自钱学森等《论系统工程》(新世纪版)，上海交通大学出版社，2007 年 1 月第 1 版。

6.2　科技情报工作的科学技术

最近看到《陕西情报工作》1983 年第 1 期有一篇很短的文章[5]，是祝贺我国两个刊物——《情报科学》和《情报学刊》创刊三周年的，它提出了这么一个问题：以前对于科技情报工作，我们主要是从工作的角度来看待的，就是有这样一件事情，有这么一项很重要的工作。但是我们没有从科学技术的角度来对待情报工作，没有把情报工作的科学技术问题作为一门学问来考虑。短文说，三年前《情报科学》和《情报学刊》创刊，才标志着科技情报工作作为一门科学，作为一门技术来看待。这些话是很有启发的。因为，我回想，差不多半个世纪以前，还是我当研究生的时代，那时候，我所依靠的无非是学校图书馆的管理员，要他帮助把期刊、书籍搞到手。情报工作在我的概念里几乎是没有的，不存在的。因为当时科技文献的数量还不算很大，我作一项研究也就是读有关的文献，好像不需要什么情报工作帮忙。后来，经过将近半个世纪的发展，情况发生了很大的变化。国防科委成立初期，聂荣臻同志就很重视情报工作，在 1956 年建立第五研究院的时候，就设置了情报研究机构。但是，现在回顾，当时我们所用的办法，我们对情报工作的概念，比起现在来是很原始的。从那时到现在有一个非常重要的变化，就是图书、期刊和其他资料的数量有了飞跃的增长，一个人想靠自己的

力量去找齐有关文献是不大可能的了，与此同时，由于现代科学技术的发展，特别是电子计算机；电子技术的发展，情报工作的手段是大大地发展了。我曾经写过一篇文章[6]，主要是讲现代技术，特别是电子技术、电子计算机的发展对于情报工作今后发展的影响。但是，现在来看，我在那篇文章里所写的已是很不够了，特别是没有把科技情报工作作为一门科学技术来考虑。所以，在这篇文章里我想着重地讲讲情报工作，特别是科技情报工作，以及国防科技情报工作，作为一门科学技术来考虑的一些意见。

开宗明义，必须强调我们研究情报这一门科学技术，一定要用马克思列宁主义、毛泽东思想的立场、观点、方法来做。或者换一句话说，我们必须用马克思主义的哲学来指导我们研究情报科学技术。为什么是这样呢？因为，从工作的开展、所使用的技术、取得的成绩来看，美国等发达国家比我们确实先进很多。那么，我们当然要学他们好的东西，但是也必须说清楚，就是在学他们的所长的时候，千万不要把他们的所短，把他们的错误也都学来。我们做这些工作的时候，脑子里要有条弦，就是马克思列宁主义、毛泽东思想，就是马克思主义哲学，就是辩证唯物主义和历史唯物主义，不然的话，我们可能会好心办错事。

6.2.1

第一个问题，什么是情报？这个问题，在过去这几年，我们国内也有很多的议论，有各式各样的说法，在《情报学刊》1983 年第 1 期上，有一篇黄耀煌写的文章[7]，关于情报定义的描述他就列举了 37 种说法，他举的第一个说法是这么讲的：“情报总是一件事情，或者是一种知识，这内容对于一部分人应该知道而还不知道，因而需要情报机构人员概括、组织、编纂、加工、评价，然后经过交流的工作，传递的工作，送到对象那里去。”还有一种讲法是：“情报是意志、决策、部署、规划、行动所需要的知识和智慧。”还有的说情报是信息，等等。在同一篇文章里，还附录了构成情报的许多要素，一共有 29 个要素。譬如说，知识是要素，智慧是要素，传递、传播、报道是要素，系列化是要素，特定的需要是要素，反馈与预测是要素，新的知识是要素，使用价值也是要素，效用、分类性、什么客观的、可以接收和储存的、先进性、载体语言与符号、主观性、时间、杂伪、信息性、衰变性、不均匀性、相关性、随机性、增量的等等，一共有 29 个要素。这些提法，我觉得都有它对的一部分，我们可以很好地研究一下。我们能不能够把情报这个概念科学地明确一下？我现在试图提一个，看对不对？我理解，情报就是为了解决一个特定的问题所需要的知识。这里头包含了两个概念：一个就是它是知识，不是假的、乱猜的，应该是知识。再有一个，它是为特定的要求，也就是为特定的问题提出来的，所以，及时性和针对性是非常重要的，人家问的是这个问题，你回答的是另外一个问题，那当然不行。所以，我想

把这么许多意见概括起来是不是可以说：情报就是为了解决一个特定的问题所需要的知识，要注意它的及时性和针对性这个要求。那么从这样一个概念出发，就要考虑考虑情报和知识是不是完全等同的。这就要求再深入一步，说明什么是知识?

有一个习惯的说法，情报是一种资源；现在还说人力资源。可是资源这两个字，怎么用法，值得斟酌。这不是一个随便的问题，资源指的是物质的自然资源，马克思在《哥达纲领批判》中是讲清楚了的。资源应该是物质的，是客观存在的，我们才去利用、开发这个资源。从这意义上讲，人是物质的，人也是客观存在的，所以说开发人力的资源，我觉得还是可以这么用。那么，知识是不是物质，我觉得知识、文化，似乎不能够把它看作是物质的东西。我们说知识，譬如说一本书是知识，我们绝不是说是印这本书的那些纸和这本书上印的那些油墨，我们不是指这个，这是物质的；我们是指这本书里面所包含的人认识客观世界的一些信息，或者思想。那么，这是不是物质，这是唯物主义或唯心主义的大问题。我觉得这样一个问题应该慎重地研究。因为现在西方的哲学界里有各式各样的议论，很混乱。为了避免混乱，我认为知识，文化应该用另外一个更概括性的词，把它总括起来，应当用“精神财富”这样一个词[8]。

我们知道，人认识客观世界的成果，是从有了语言文字以来，已经长期不限于认识个体自己所有了，它是公之于集体的，传之于后代的，也就是成了公有的知识文化的财富。这就是我们讲的精神财富。如果再进一步明确一点的话，那就是精神财富必然受创造它的人的主观意识的影响。封建主有他看问题、分析问题的立场和观点，资本家有他看问题、分析问题的立场和观点，他们都有局限性。当然，在认识客观世界，也就是认识社会和认识自然的不同范畴里面，这种局限性的表现形式和它的程度是有所不同的。但从总体上来看，人的主观意识，阶级倾向，对精神财富的影响，那是不可否认的。在我们国家，精神财富必须是促进社会主义建设的，有利于社会主义文明的。所以，说得更准确一些，在我们国家，精神财富要加一个限制词，就叫社会主义的精神财富。再有一点，就是精神财富不是哪一个人能够独立创造出来的。我们现在有的财富，那是上下几千年全人类的劳动结果，今天任何一个人如果还想对这个财富增加一点点的东西，他也必须首先有知识，有文化。这就是说，今天作为一个认识主体，来认识客观世界，那么，打交道的还不光是客观世界，我们一开始就要同精神则富打交道。这样说来，我们似乎对经典的哲学应该加一点补充，就是人认识客观世界的过程中间，起作用的有三个方面；第一个是人，这是认识主体；第二个是客观世界，这是认识的对象；还有第三个，就是精神财富，那是全人类所创造的认识客观世界的工具。

我们说三个方面，但是必须明确，客观世界，也就是物质，这是第一性的。

起认识作用的人的意识，也就是精神，这是大脑的产品，或者说，是大脑这一物质的活动的一个表现。所以，意识或者精神，是第二性的，因为它也是物质的大脑所产生的。那么这里的第三个，精神财富，那是人类创造的，反映了人对客观世界的认识，这个当然也是第二性的。这个说法比起经典的马克思主义哲学有了一点儿发展，就是客观世界和作为认识主体的人之外，加了一个精神财富这样一个不同于这两个东西的第三个东西。但是，马克思主义哲学的根本原理没有变，物质是第一性的，精神是第二性的。

我这样一种说法，一方面是吸取了一点新的东西，这新的东西就是英国的哲学家，或者叫科学哲学家卡尔·波普尔的一些说法，但是也批评了、反对了卡尔·波普尔的二元论的说法。波普尔很出名，英国还封了他爵士。他对于现代科学有些看法，提出了三个世界的理论。在他这三个世界的理论里头，强调了精神财富这个领域，这一点是对的。但是在他看来，这三个世界都是等同的，独立的，世界 1 就是客观世界，世界 2 就是精神世界，世界 3 就是知识世界，而且他强调这三个世界都可以独立地发展，这就搞乱了。

特别让人家很难接受的就是说这个知识世界，它自己有独立性，自己可以自由自在地在那儿发展。这是十分荒谬的了。知识是人去创造的嘛，知识怎么能独立自主地在那儿发展呢！所以，波普尔实际上是陷入了哲学二元论。这在资本主义国家的这些哲学家是不能理解的，因为他们没有马克思主义哲学，不懂得辩证唯物主义。我说这一段话的意思就是要强调这个知识的领域，也就是精神财富。精神财富不是物质，它是人的意识、人的精神在认识客观世界过程当中所创造的东西。我的意见就是把情报说成是资源这好像不大妥当，因为情报不是物质的。我们应该说情报是一种特别的精神财富，是一种特别的知识。

那么这个特别，特别在哪儿？我觉得说特别，是不是可以用这么一个词，就是情报是激活了、活化了的知识，是激活了、活化了的精神财富。那么，什么叫活化了、激活了呢？我觉得，回答这个问题就在于我们要给情报下个定义。情报一方面是知识，另一方面，对情报有个要求，就是它要针对某一问题，有及时性、针对性的需要，这是情报的一个非常重要的因素。在过去这两三年的讨论中，对这个问题也是反反复复提到的，那么刚才我把它概括起来，提了一个对情报的定义，这里头就强调一是知识，二是它有及时性、针对性。及时性、针对性就是说它不是一般的知识，而是针对某一问题，你要把它提出来，这一提就是激活了，活化了。我们常常说情报资料，我看现在要把情报和资料分开，情报之所以能产生，离不开资料，但是资料不等于情报。我们的这个工作领域是包括资料的，但是，情报还要经过一个活化、激活的过程，也就是说，僵死的资料不是情报，情报是激活了、活化了的知识，或者精神财富，或者说利用资料提取出来的活的东西。

6.2.2

我们为了取得情报，就必须积累资料，所以我们说，情报事业或者叫情报工作当然要包括资料、图书、档案等等这些方面的搜集工作。那么从整个过程来看，我想是不是包括这么四个方面的工作：第一，因为你要提供及时的、准确的、有针对性的情报，这些情报又是从你的资料库里面提出来的，你怎么去搜集你的资料，你怎么去建立你的资料库，你就需要预测社会的发展。比如，在国防科研和国防工业的领域里，就要预测国防科学技术会怎样发展，有针对性地去搜集资料。这是做准备工作，不要等到有人来问，要提供某一个情报，措手不及。要预测需求，然后按着这个需求去搜集资料。第二，还要向需要情报的用户，介绍你库存资料的范围和情况，这就叫宣传介绍工作。假如有人有问题想找你，可还不知道你这儿有这个资料，他当然不会找你了。所以有了资料库，还要介绍这个资料库的内容。第三，一个很大的工程就是检索的体系，情报资料检索的技术体系要搞起来。因为这些资料、情报都是浩如烟海的，老办法是不行了，必须用新的科学办法，这就是科学的、现代化的检索系统。第四，当用户需要的时候，你能够提供正确的而不是错误的，科学的而不是乱七八糟的情报，同时又要有针对性、及时性。这样的情报要求不一定正好和你库存的项目相符，也就是说，从资料、从知识变成有用的情报，还需要加工。这就叫情报分析工作，或者叫情报研究工作。

情报工作分得细一点，就划成四方面的工作。如果概括一点，无非就是两大方面的工作：一个就是把资料收集起来，建立资料库，建立检索系统，以便于使用；再一个方面，就是把这些资料活化、激活了以后，变成情报。这就需要分析、研究，提供。当然，这两个方面是相互影响的。刚才讲的那四个方面，就讲到了相互的影响。你搜集资料，首先你就得想一想，将来谁是你的用户，他会要什么东西。再一个要向用户宣传，你存了什么宝贝，他好来请教你。

我们今天应该把上面说的四项工作或者两个领域，作为一门科学技术来研究，我们的国防科技情报工作再也不能像以前那样，仅仅看作是一项工作，而应该把它考虑为一门科学技术，这一点我要强调。以前，我们对组织管理就仅仅看成是一项工作，而不看成是一门学问，管理嘛，“办”就是了，因此也就没有去建立和发展组织管理的科学技术，更没有去培养组织管理的专门人才。到现在，我国的科学技术落后于发达国家，而组织管理尤其落后，这是个教训。科技情报工作不能再重复这个失误，一定要把它看成是一门科学技术。现在要把这门科学搞好，要在我们中华人民共和国建立这一门科学技术。

6.2.3

总的任务明确了，现在具体地说有一些什么科技领域要研究。你要搞情报，你就离不开资料、知识，离不开积累知识，要把科技知识积累起来。所以，第一项科学技术，就是收集，翻译以至于出版工具书这一类工作的科学技术。以前对这方面的工作总认为没有什么可研究的，收集就是收集，翻译就是翻译，编辑工具书就是编辑一下就是了。这还有什么科学技术?！我觉得以前的考虑是不够的，收集资料实际上是一门科学技术，是要好好下工夫研究的。

这主要是因为收集的对象是十分复杂的，就以图书资料来说，它包括出版公司和出版社出版的书籍，个人印行的书籍，国家机关印发出版的书籍，报告和文件，各学术团体编辑出版的定期刊物，出版公司、出版社出版的定期刊物，还有许多不定期的刊物。在我们国家和其他国家也还有学校出版的学报等刊物。我们要做好资料的收集工作，首先要对这么庞大而又是多种文字的图书资料有一个比较清晰的了解：每一家出版公司、出版社的特点，出什么种类的书刊，质量如何，国家机关书刊的性质和种类，学术刊物的权威性如何，是严肃的还是流行争议性的，等等。搞清这些问题是一种专门的学问，是图书馆学的一部分。同时，图书资料的情况又不是一成不变的，出版单位在变，老的可能退出，新的不断出现，学术刊物的增长变化也是不断的。所以这门学问又是研究在运动变化中的学问。在我国有一些在大图书馆工作多年的老馆员，从实践中积累了这方面的丰富知识，是十分可贵的。

研究这门学问，也许可以叫做“资料学”吧，当然也要靠另一些资料，如书刊的广告，出版物的订购订阅单，出版通知，学术会议的消息，书籍的评论介绍，以及专门的书籍和期刊文章评论刊物。这些资料本身又是千头万绪的，我们应该把其中的概况和比较稳定的部分整理出来，编写成工具书，作为资料学的一个基础。

资料收集的又一个方面，是通过国际学术交往，对象是人，从科学技术资料来说，就是世界的科学家、工程师和专家们。这是活的对象，比起上面讲的图书资料来，更难研究。当然各国都出版一些名人录，大的学术组织也出版会员录，还有其他各种各样的人物志等。但是作为资料收集的对象，对一个人、对一位科学家、一位工程师、一位专家的了解不能停止于上述的文字传记式材料，我们还要了解每一个人的脾气、工作喜好和生活习惯。这些又涉及社会风尚，社会关系，心理学等领域的学问。此外语言是人和人交往的工具，如果不能用工作对象自己的语言和他交谈，是无法形成和谐的气氛的。我们以前在这方面下的工夫是很不够的，也没有编写必要的工具书。今后一定要在这个领域内认真努力，为开展国际间的科学技术交流创造一个新局面。

6.2.4

下面谈谈情报资料档案、图书、刊物的存贮检索技术。需要强调的是我们做科技情报工作的同志要抓这件事，但这项科学技术是很广泛的。比如电子计算机，我们不能代替国家研制电子计算机技术，发展电子计算机的技术队伍，但我们要把要求反映清楚，希望他们的工作和我们配合起来。比如，英语或者外语的全套资料的存贮和检索，可以利用外国已经建立起来的系统，我们可以“坐享其成”。但也有个问题，他们的系统也是很复杂的，花样很多，我们在引进这些技术的时候要有我们的规格，不要弄乱了。至于汉语的体系，要建立我们自己的，国外也在搞，但没搞出来。我们国家最近搞出一些成果，已经做了不少工作，国防科工委也开过几次会，领导很重视，但还要继续努力，进一步完善。

再一个是存贮技术和检索技术，这正在一步步发展。最古老的当然是印刷了，然后发展到显微胶卷，发展到磁带，现在还要进一步发展。比如用激光判读的码盘，在一面码盘上可以刻上只有头发丝 1/50 那么宽的小坑，一共 250 亿个，就用它来存贮信息，因为激光束判读时不会磨损盘表面，因此使用寿命很长，比磁带长得多。激光码盘原是为了录像而发展起来的，已有 10 年历史了，现在因磁带录像已占据了市场，要另找出路，才发现资料信息存贮这个应用[9]，现在看来激光存贮将成为资料存储的很好手段。再有就是全息激光技术，用全息图来贮存信息，我国也有人在搞，也是很有希望的技术。

所有这一些，涉及的专业面是很广的，我们搞科技情报工作要靠别人来协作，任务是委托出去。但是，这方面工作的规划、计划还要我们来抓。我们对于需要、目的要比较明确，而且要用一种长远的眼光来看这个问题。这些技术不是一下子能够取得的，需要一段时间，这就要列入规划，一步一步地搞，若干年后，正是我们需要的时候，它这个技术出来了，那就正好。

关于存贮检索技术，因为大家已比较注意，各方面也已做了不少工作，我就不再在这里细说了。但结合存贮检索技术，应该提出建立情报资料信息网中的一项重点建设：通信线路的问题。在情报资料信息网里，信息流通是根本，而我们现在通信线路还有空白点，就是有线路的地方，容量也远不能满足需要，可靠性也差。这些问题不解决，网就是空话。当然这里面也有技术问题，但更多的是组织计划问题，所以说是重点建设。

6.2.5

现在讲讲第三个方面的情报科学技术，即情报分析或情报研究。既然说情报是激活了的知识，或者精神财富，那么怎么激活？这有一个了解用户需要的问题。有了这个需要，题目出来了，就有一个怎么能从浩如烟海的资料库里面把情

报提取出来的问题，怎么让它变活，我们以前在这方面做的工作还很不够。我稍微知道一点国防科工委的情报研究所的工作。他们在这个方面开展了一些工作，因为原来的国防科委要求我们情报所提供一些战略发展方面的情报，他们不能只找一篇资料翻译出来就行啦，而是要查找很多资料，才能看到发展趋向。但这方面的工作，做得还不多，用的方法也比较简单，看 10 篇、20 篇东西，然后把它综合一下，这还不是现在国外所说的情报分析研究工作。高级一点的情报研究工作，实际上是一个综合的技术。这种综合技术要用系统科学和系统工程的方法。下面举几个实例来说明。

先说希特勒追查泄密事件的例子[10]。这是 1935 年，正当法西斯德国的战争机器开始加速运转的时候，有一个名字叫雅各布的德国新闻记者，出版了一本小册子，书中具体地记载了当时正在重新武装的德军情况，其中包括德军的组织机构，参谋部的人员分布、各个军区的情况，并且列举了 168 名指挥员的姓名和他们的简历。这么一个文件，希特勒知道以后就大发雷霆，说谁泄的密，责令追查。后来，德国的情报部把雅各布从英国骗到德国，审讯他，雅各布说，他这本小册子里说的每一件事情都是德国公开的报纸上登过的。而且把证据都拿出来，说他上面写的什么，这个资料哪儿来的，是哪年哪月哪日什么报上那一条讲的。审完以后证明，所有这些东西都是公开报纸上讲的，没有什么秘密的渠道。所以，这件案子也只好不了了之。我觉得这件事情，就是我上面所说的综合。这个综合就是把所存的材料拼拼凑凑，点点滴滴给它加起来。但是，有一个重要的内容、因素，就是拼这些东西得有一个框架，有个模型。拣了东西往这儿放上一点，往那儿放上一点，你知道往哪儿放。

再如，在普法战争的时候，马克思在伦敦，恩格斯在曼彻斯特，恩格斯常常写关于战争发展的文章[11]。有一次他预见，过两天就要发生一场战争，对这个仗大概怎么打，而且最后胜负是怎么一个情况，都已预见到。他写了一篇文章，用快邮寄给马克思，告诉马克思收到这个东西以后，马上交给伦敦的《派尔麦尔新闻》编辑部。为了争取时间，马克思坐马车到编辑部，把稿件给了编辑部，编辑部很重视，第二天早上登出来了，而这场战争后来打起来了，战争的结果，与恩格斯的预见完全一致。那么，恩格斯是不是有什么特殊的渠道呢？没有。但是恩格斯掌握了马克思主义的哲学，辩证唯物主义和历史唯物主义、马克思主义的军事学。所以他听到那些事，把它往这个框架里一搁，整个的情况就出来啦。

情报的分析工作，靠一个模型。我举这几个例子，都说明有了模型以后，你再把搜集到的点滴的资料输入到这个模型里去，这个全貌就出来了。有同志会说，那你得有一个模型，假设没有这个模型，怎么办？即使没有这样一个模型，现在系统工程、系统科学的方法也告诉我们还是有办法的。第一，首先是定性的，所谓系统分析这个办法就是把搜集来的这一些数据，可以经过系统分析，摸

清它的趋向性的、定性性的一些东西。在这个基础上，还有在系统工程中最近10 年发展起来的“系统辨识”方法。比如说，你对这个系统不知道，里面关系是什么不清楚，但是你有很多数据，有这个系统的输入和输出数据，你就可以用一套科学的方法去凑，最后，这个系统本身的结构就能凑出来，这就是“系统辨识”。甚至在更困难的情况下，不知道系统的输入数据，只知道输出，不知道这个黑箱子是怎么回事，我们还可以用系统辨识对这个黑箱子的内容猜个八九不离十。那么黑箱的内容一出来以后，猜得差不多了，再把那些数据综合在一起，整个的东西就清楚了；所以如果有一个模型，这个事情好办，假设没有模型也可以办，因为有现代的系统工程或者系统科学的方法，首先是系统分析可以定性，然后进一步用系统辨识，还可以定量。所以情报的分析，这一门科学技术也是大有可为的。不是说现在没有门道。国外正大量应用系统科学的方法，最近看到一个材料，美国跟苏联的克格勃作斗争，发现怀疑对象很多，但是，完全靠这个人的一两件事情，又定不下性质，下不了决心。处于这么一个状态，美国就搞了一个模型，把模型输入计算机。因为这些克格勃的活动都是相互关联的，所以，把所有的观察到的点点滴滴可疑点都输进去，再用电子计算机进行系统辨识，这么一来，结果是真相大白，一个个克格勃是怎么回事就清楚了。然后把几个特别清楚的，下决心驱逐出境。这件事，我想用的就是这套办法。

上面介绍的是情报科学技术的第三个方面，情报分析研究的科学技术，也可以说是生产情报的科学技术。这是一门重要的科学技术，我们要在这方面作出努力。

6.2.6

总起来讲，情报的科学技术里面第一个问题就是关于情报的搜集，这个我们要下工夫作为一门科学技术来研究，第二个问题就是建立情报贮存、检索体系，这要作为科学技术来研究，我们要抓，要靠全国协作；第三个就是情报分析的科学技术。这个我只说一下，这不是完全新的，不是一点基础都没有的，确实是有基础的，历史的实践有基础，现在系统科学的发展，系统工程的发展，也给我们提供了许多方法。所以，就讲这么三个方面的科学技术。当然，只讲这三个方面可能很不全，仅仅是抛砖引玉。“玉”是要大家来研究，才能得到的。但是，我想说明这么一个问题；我们现在对于科技情报工作的认识，应该是大大不同于10 年前、20 年前的认识，如果那时候我们还是把科技情报工作看作是一件事情，一个工作要办，那么，现在我们必须认识到要做好这件工作，首先要研究科技情报工作本身的科学技术。

这是一门学问，它的影响将是很大的，它关系到我们社会主义物质文明和精神文明的建设。我们应该把情报工作看作是创造精神财富的事业中很重要的一个

方面，是一件大事情。我们从前讲的一句话："秀才不出门，能知天下事。"他也是靠情报、靠信息吧。现在，我们确实能够做到，那就是靠我们的情报体系或者叫情报信息这么一个体系。我们每一个人都在这个体系里头，每天也不能离开它，就像人不能离开空气一样。同志们！我们不是说大气层或者叫大气圈吗？它上面是对流层，再上去有同温层，再上去，地球外边有"磁圈"。国外有人利用了这个比喻，造了一个字，叫 noosphere，sphere 就是"圈"或"层"的意思，noo 来源于希腊文，是"知识"、"信息"的意思。就是每个人在这么一个层里边。这个"层'是什么构成的呢？就是情报信息、知识、文化这么一个领域。所以，我觉得我们说的这个事要放远来看，要看到将来会是什么样子，那就是我们这个情报知识、信息体系，简直可以包括全部人类几千年来所创造的，而且还在不断地创造着的精神财富。而且这个全部的精神财富都可以由我们每一个人随手调用和享受，因为都通了嘛，谁都有一个终端嘛！倘若能这样，我们就不但能从旧的脑力劳动中解放出来，而且我们将获得一个伟大的新的世界，从来没有的高度文化的新的世界。我们的脑子不要花在记忆上啦，我们的脑子还可以干别的，也就是从繁重的记忆劳动中解放出来，把智慧集中到整理全人类的知识。全面考察，融会贯通，从而能够创造更多更高的脑力劳动的成果，也就是人变得更聪明了，人类前进的步伐将会更快了。这几句话我是在 1979 年的那篇文章[6]里讲的。总之，我们要看得远些，要看到这么一个前景。

6.2.7

现在再结合国防科学技术情报工作讲几点看法。国防科学技术情报是用来为我国国防事业服务的。国防事业包括研究、设计、试验、试验定型、批量生产、部队使用、作战等各个方面的科学技术。当然，现在我们各工业部还有民品，这也很重要。现在国防科学技术是越来越重要了，因此，科学技术情报工作也就越来越重要了。这就提出来一个问题，就是国防科技情报工作和一般的科技情报工作相比有没有特性？这个问题同志们也在研究[12]，在我们研究情报科学技术时，要注意到这些特点。对这个问题，我没有研究，不多说了，但是，我们在研究特点的时候，也要注意到国防科技情报工作也是国家科技情报工作的一部分，我们和国家的科技情报工作有千丝万缕的联系，在强调我们特点的同时，也要注意到我们和全国的联系。

我们现在还要研究规划问题，我也提一点这方面的看法。我国国防科技情报队伍人数确实不少，但是，我看这不能单纯地说是多了还是少了的问题。如果我们 20 个人里，有一个人搞科技情报工作，那是不是多了呢？我们知道，美国人的情报工作是走在前面的，他们搞情报工作的就有 160 万，这个数字是 1980 年统计的数字"[12]。我们且不说它那整个搞情报资料工作的，就说这 160 万的

1/10，那也是16万哪。所以，这个问题不在于说我们人是多了还是少了，我们要研究的不在这方面，而首先要看，根据党中央、国务院、中央军委的指示，要实现国防现代化，国防科技情报工作到底应该是怎样一个规模。当然也要看到，现在这个队伍里面没有充分发挥每个成员的积极性和才能，内部比例失调也是有的，是不是这一方面多一些，那一方面少一些，有的方面我们还根本没有做工作。例如在美国，在情报工作人员中专搞情报理论研究的就占人员总数的近3/1000，而我们呢，几乎没有人专门搞情报理论研究，这就是一个问题。所以我们要制订规划，首先要研究情报科学技术这门学问，特别要研究国防科技情报工作这门科学技术的学问。

在开始研究这门学问的时候，我们千万不要一想就想到我们自己的那一块，而要讲究系统，讲究整体地看问题。人们常说，只见树木不见森林，那是要迷失道路的。所以，我建议大家在研究这个问题的时候要考虑上面讲的那些问题对不对。比如说什么是情报，情报和知识，和精神财富的关系，情报事业在整个精神财富的创造事业中占什么位置，等等。我曾经提过一个词，在我们社会主义国家应该研究创造精神财富的社会的科学，我把它叫做“文化学”，它包括整个教育、科学研究，但是，在“文化学”的领域里，情报科学也是很重要的组成部分。再有，我们千万不要轻视基础理论和有关的哲学问题，比如客观世界是物质的，是第一性的。其他都是第二性的。第二性的并不是不重要的，人的意识和思维是第二性的，又是由它去认识客观世界、创造出人类的精神财富、知识、文化。这样的问题，也值得研究，也要考虑，这就是思维科学方面的问题。我是把情报这个领域作为思维科学里面的一部分来考虑的[13]。因为情报最后要和人的意识、思维交互作用，如果人没法用，那就不叫情报了。所以思维、意识和电子计算机的相互作用，这是思维科学需要研究的，是人工智能需要研究的，也是我们要研究的问题。最后，所有这些工作都涉及系统工程科学的问题，我们要建立一个很好的国防科技情报工作的体系，这就是一个系统工程的问题。所以我们在研究情报科学技术的同时，不要只研究情报科学本身，还要更广一点，这样我们才能把问题吃透。因此，我建议，要在我们这个队伍里加强学术活动，也就是要研究情报的科学技术问题，要把它作为一门科学技术来研究。中国科技情报学会国防科技情报专业组的活动要加强，任务就是在我们国防科技情报队伍当中，研究情报的科学技术问题。

我们要在国防科技情报工作这门学问上下点工夫，我们能不能用两年的时间，大家齐心协力，在国防科技情报科学上下工夫。在研究这门科学时，要用马克思列宁主义、毛泽东思想的立场、观点、方法，要用马克思主义哲学来指导。要结合我们国防科学技术、工业以及部队等实际情况来考虑我们的工作到底应该怎么做，也就是“七五”规划。如果我们“七五”规划真正做的是科学的规划，

是符合普遍规律的，是符合中国实际情况的，那么在“七五”期间，就可以把步子迈大一点，把我们国防科技情报工作的体系搞起来。这样做是符合中央总的要求的：20 世纪 90 年代我们要有一个大的发展，迎接 21 世纪。

（1983 年 7 月 2 日）

选自钱学森主编《关于思维科学》第 426～444 页，
上海人民出版社 1986 年 7 月第 1 版。

参考文献与注释

[1] 钱学森，许国志，王寿云. 组织管理的技术——系统工程. 文汇报，1978-09-27.
[2] 在国外，有人称情报资料为“人类的第二资源”。这是强调了情报资料的重要性，但按中国话的习惯，这是不妥当的。我们还是用“人类精神财富”这个词.
[3] 钱学森. 科学学、科学技术体系学、马克思主义哲学. 哲学研究，1979，(1)：20-27.
[4] 恩格斯. 反杜林论. 马克思恩格斯选集（3）. 北京：人民出版社，1972：335-336.
[5] 本刊编辑部. 为发展我国情报学而开创新的局面——贺《情报科学》、《情报学刊》创刊三周年. 陕西情报工作，1983，(1)：4.
[6] 钱学森. 情报资料、图书、文献和档案工作的现代化及其影响. 科技情报工作，1979，(7)：1.
[7] 黄耀煌. 近两年我国情报概念争鸣的剖析. 情报学刊，1983，(1)：23.
[8] 钱学森. 研究社会主义精神财富创造事业的学问——文化学. 中国社会科学，1982，(6)：89.
[9] Fox B. New Scientist，1982，1 (96)：150.
[10] 田新建. 希特勒追查泄密事件. 国防科技情报工作，1982，(6) 15.
[11] 敬思. 学习恩格斯分析战争现象的科学方法. 哲学研究，1980，(12)：29-34.
[12] 本刊通讯员. 尊重科学，按客观规律办事——记国防科技情况专业组第四次学术讨论会. 国防科技情报工作，1982，(2)：6；白和平. 美国情报专业人教. 国防科技情报工作，1982，(2)：7.
[13] 钱学森. 关于思维科学. 自然杂志，1983，(8).

第七章　论研讨厅与大成智慧

7.1　关于人机智能系统的谈话

戴汝为、汪成为、于景元、王寿云：

你们几位都是胆子比较小。我们要做的事超出了你们几位所习惯的范围，所以为难你们了。

下一阶段究竟要解决什么问题？指导思想要明确，要有一个核心的问题，这也就是智能机专家组的长远目标问题。

浙大教授潘云鹤对形象思维所提的问题是清楚的，但当谈到具体怎么做时，又回到老路上去了。你们要把思路扩展，如对人体科学、中医理论、生理、心理都应该了解一些。我在清华（1987 年 12 月）曾提出了 11 个方面的问题。这并不是说让你们去研究中医，而是去了解人在认识和处理问题时，并不一定都是通过形式逻辑的办法而进行的。

诺贝尔奖获得者 Sperry 谈到了 mantalics（精神学），但他也局限于西方科学的习惯看法。我们不能迷信希腊发明的逻辑和只限于培根式的方法。我在跟 Theodore von Karman 当研究生时就发现，他的许多思想不是靠逻辑、推理得出来的。

我今天想说的中心意思是：智能计算机是非常重要的事，是国家大事，关系到 21 世纪我们国家的地位。如在这个问题有所突破，将有深远的影响。

我们要研究的问题不是智能机，而是人与机器相结合的智能系统。不能把人排除在外，是一个人机智能系统。

机器是帮助人、使人的作用发挥得更加充分。我建议 863-306 的名称应改为“人机智能系统”。人脑是开放的巨系统，计算机也是一个巨系统，再加上情报、资料、信息库……，而成为一个人机智能系统。我们的目的就是构造这样一个系统，它就成为“总体设计部”的不可缺少的支撑了。因此，我们才称它为尖端技术，应列为国家攻关项目，应有相应的保密措施，因为它关系到社会主义的胜利。

对所提出的方案我也赞成，是开步走，因为它是目前能够做得到的部分，是使老办法能多做些工作。对我们最终所要争取的目标，现在我们大家还不知道如何实现呢，还要深入研究。我们要认识到我们的局限性，现代科学的局限性。我

们目前只是对我们所要解决的问题有点认识而已，但如何解决？尚待探索，现在我们还没门呢！

目前机器还没法解决的事，先让人来干。等机器能做的事慢慢多起来时，人也就被解放得多一些了，人就能发挥更大的作用了。

归纳而言：

一，人的意识活动是很丰富的，包括自觉的意识、潜意识、下意识，人是靠这些来认识世界的。

二，为了认识世界和改造世界，人始终发挥着主导的作用，我们要研究的是人和机器相结合的智能系统。

三，现在还不可能很快实现这种人机智能系统，目前只能做些“妥协”，实事求是，尽量开拓当前计算机的科学技术，使计算机尽可能地多帮助人来做些工作。我希望把最终实现人机智能系统这件事赶快定下来。这应该是863-306的目标。为此我已向朱光亚主任、聂力副主任写了报告。

因此，当前的工作是研究现在能够做些什么，还有哪些是现在不能做的（讨论班的内容也应该是这样）。思维科学的突破口是形象思维。应该把你们几位的工作在更高层次上综合起来。

你们几位要多读些书，读些不是本行的书，把思想拓得宽一些，扫一扫整个人类的全部知识领域，这不算耽误时间，要借助讨论班，动员大家去扫。从传统的、国外的影响下解放出来，站在马克思主义哲学的高度来看这件事。马克思主义哲学是智慧的源泉。

最近我和加州理工学院的Marble（力学家）谈话时说，中国有一个词叫“帅才”，英文是generalist，你们叫chief scientist。当帅才在领导实现一个明确的目标时，从基础应用研究一直到工程实现他都应考虑到。

麻省理工学院（MIT）在20世纪60年代的贡献是培养出一批工程师，在技术科学和工程之间搭了一座桥梁，后来全世界都学MIT。20世纪20年代加州理工学院的贡献是培养出一批工程师加科学家的人才，比MIT培养的人高明一些了。现在要求培养科技帅才，要培养一批工程师和科学家加思想家的人才，你们应该成为科技帅才，因为这是社会主义建设的需要。

1991年4月18日

（根据录音整理，未经本人审阅）

选自戴汝为著《社会智能科学》第210～211页，
上海交通大学出版社2007年1月第1版。

7.2　关于大成智慧的谈话①

今天找大家来，我首先想谈的是要学会运用马克思主义哲学的问题。因为你们这个集体正在研究的问题都涉及人，人的思维和人的大脑，这是一个非常复杂的问题。在西方资本主义国家，相当长的一段时期以来，他们对于人的作用的认识是有许多错误的。在对人脑和人的思维等问题的研究上，尤其有许多机械唯物论的东西。

我讲这一段话的意思，就是我们这个班子搞开放的复杂巨系统，任何时候都不要忘了辩证唯物主义，警惕机械唯物论，辩证唯物主义，至少方向是正确的，走一步是一步。我之所以反复强调这一点，就是看到当前科技界有一股风，即跟着外国人跑。当然，这些事情也很难免，像计算机软件，用的是英语，所用的符号都是来自英语，在不知不觉的情况下就会受到影响。

在这个前提下，我再讲几个问题。

7.2.1　关于建设从定性到定量综合集成研讨厅体系

1. 关于信息和信息网络的高效化

当今世界，信息量之大，是十分惊人的。如果不使信息网络高效化，那就会成为泰山压顶，非把人压垮不可。因此，建设高效能的信息网络，让人能够很方便地提取和使用信息，是一个重要问题。从目前国内外的进展情况来看，这个问题已接近解决。汪成为同志送给我一本《面向对象分析、设计及应用》[1]，我自己有一本 *Intelligent Databases——Object-Oriented*, *Deductive*, *Hypermedia Technologies*[2]，我觉得这两本书不错。总的来说，就是讲信息系统怎么更实用，更有效，这个观点我是很赞成的。大约 10 年前，我在国防科工委情报所讲，你们搞什么信息库、资料库，但是对一个使用者来说，这可是茫然大海，怎么把有用的信息找出来？那时我还没有想到用计算机，只是对情报人员说，你们得想办法把“死”的情报资料“激活”了，使它成为可用的信息[3]。当时我也提出“激活”情报、资料、信息的系统工程方法；现在看来，这个工作可以用计算机来做，这可是解决了一个大问题。我想，这是我们搞综合集成研讨厅要解决的第一个问题。

---

① 这是钱学森 1992 年 11 月 13 日与王寿云、于景元、戴汝为、汪成为、钱学敏、涂元季六人的谈话。这只选前三节。

2. 关于综合集成技术

在信息网络大量资料的基础上，还有一个中间步骤：这是为决策咨询用的，是稍小一点的分系统的决策问题，目前流行的说法叫决策支持系统。将来的研讨厅体系，要用到大量的决策支持系统案例的结果。这些结果将来也要建一个库，供决策使用。这样的成果当然比上面说的“信息”层次要高一些，是较高层次的信息库。

综合集成技术的第二个方面是怎么样把参加研讨厅的专家意见综合起来。过去遇到这个问题想了一些办法，现在要进一步提高，做得更有针对性。

7.2.2 关于大成智慧工程

我们现在搞的从定性到定量综合集成技术，名称太长，也不好译成英文，按照中国文化的习惯，我给它取了个名字，叫大成智慧工程。中国有“集大成”之说，就是说，把一个非常复杂的事物的各个方面综合起来，集其大成嘛！而且，我们是要把人的思维，思维的成果，人的知识、智慧以及各种情报、资料、信息统统集成起来，我看可以叫大成智慧工程。英文翻译为 metasynthetic engineering，缩写是 MsE。这个方法，实际上是系统工程的一个发展，目的是为了解决开放的复杂巨系统的问题。用英语表达就是：Metasynthetic engineering is a development of systems engineering，for solving problems of open complex giant systems，而“从定性到定量综合集成研讨厅体系”，译成英文，可以是 hall for work shop of metasynthetic engineering，缩写是 HWSMsE。

我讲这个问题的目的是要说明，我们今天搞的综合集成研讨厅体系，是要把今天世界上千百万人思想上的聪明智慧，和已经不在世的古人的智慧都综合起来，所以叫大成智慧工程（metasynthetic engineering）。这是我们按照毛泽东的认识论，结合现代的系统工程和大家的实践经验发展起来的，这可是方法论上的一个大飞跃，大发展。这个方法将使人比过去聪明得多。实际上，我们是把马克思主义的认识论与现代系统工程的方法结合起来了，这是件了不起的事。

7.2.3 大成智慧学

前面我讲了大成智慧工程。现在要讲的是，将这一工程进一步发展，在理论上提炼成一门学问，就是“大成智慧学”。它实际上是马克思主义哲学的发展与深化，或者说，是马克思主义哲学发展到一个新的阶段，我们为它取一个朴素名字，叫大成智慧学。

近来我对这个问题有些想法，今天和大家谈谈。

几年前，我在中央党校讲课时，开始提到科学技术体系问题。当时只讲了六

大部门，后来又加了两个部门，发展到八大部门，到现在发展成十一大部门①。每个部门分三个层次，只有文艺是两个层次；每个部门又有一座桥梁，是这个部门的哲学概括；最后都归于马克思主义哲学。在这个体系的外围还有许多不成其为科学的点点滴滴的经验等，这就是我提出的科学技术体系，所以多年来我一直在宣传：马克思主义哲学是智慧的结晶。

最近看了一本书，陈晋著的《毛泽东与文艺传统》[4]，我深受启示，使我对这个问题又有些新的想法。书上讲，毛泽东的智慧不是来源于科学，而是来源于中国传统文化，毛泽东的许多思想，都是从中国文化提炼出来的。我认为这个看法是对的。大家都知道，毛主席不是学科学的，他知道一些科学知识，但是不多。他对科学的判断，实际上是从文化艺术中吸取的智慧。

中国还有些哲学家，也有这种观点，他们的书过去我看不懂，现在明白了。比如熊十力[5]，他认为人的智慧有两个方面：文化、艺术方面的智慧叫“性智”；科学方面的智慧叫“量智”。这样看来，我过去说的科学技术体系属“量智”；而文化体系属“性智”。由此使我想到，过去我说，要发展、深化马克思主义哲学，需要引入中国古代哲学的精华。张岱年教授同意我的看法。现在看，这个精华就是人类的“性智”，即人根据自己的实践经验，从整体上来看世界。这也是综合集成嘛！在这方面，毛泽东同志给我们作出了范例，他的智慧基本上来源于此，即实践加中国传统文化艺术。从前我只从科学技术方面来讲人的智慧是不够的，还要看到智慧的另一个来源，即传统文化艺术。所以，我过去讲的科学技术体系的概念还要再扩大，变成智慧的体系，这就是我和黄楠森教授，以及他的学生王东同志讲的，哲学发展史上的第四次伟大尝试。

由此看来，一个人光有科学技术不行，常常容易犯机械唯物论的错误；光有文化素养也不行。我觉得毛泽东是用传统文化中的精华、诗人的气概，结成伟大的智慧，战胜了机械唯物论和唯心主义，成为中国革命的伟人。但他科学技术懂得太少，那时我们又没有建立起处理开放的复杂巨系统的科学方法论，所以他的失误，在于把事物看得太简单化了，终于无力解决中国社会主义建设的难题，在他的晚年这一点显得更为突出，这是一个悲剧。由此看来，人一方面要有文化艺术修养，另一方面又要有科学技术知识，按熊十力的说法，既要有“性智”，又要有“量智”。这就是大成智慧学，是马克思主义哲学的发展与深化。

选自钱学森著：《创建系统学》第 66～73 页，
山西科学技术出版社 2001 年 11 月第 1 版。

① 1992 年 11 月 13 日钱学森发表这次谈话时，“建筑科学”尚未提出、列入现代科学技术体系，因此这里不是十一大部门，而应当是十大部门。——编者注

参考文献与注释

[1] 汪成为，郑小军，彭木昌. 面向对象分析、设计及应用. 北京：国防工业出版社，1992.
[2] Parsaye K，Chignell M，Khoshafian S，et al. Intelligent Databases——Object-Oriented，Deductive，Hypermedia Technologies. New York：Wiley，1988.
[3] 钱学森. 科技情报工作的科学技术. 国防科技情报工作，1983，(5).
[4] 陈晋. 毛泽东与文艺传统. 北京：中央文献出版社，1992.
[5] 郑家栋. 熊十力哲学方法论析. 吉林大学社会科学学报，1992，(4).

第二篇　钱学森讨论思维科学的部分书信

第八章　关于思维科学的讨论

1980 年 7 月 1 日致吴廷嘉和沈大德

吴廷嘉同志并沈大德[①]同志：

我很高兴地读了你们的来信和文章。我也很高兴能结识你们这两位青年知识分子。谨提出以下几点看法，供你们参考：

我同意一般说来，提出形象思维和抽象思维是指思维形式而并非思维内容，或说我们是要研究其思维规律而不是其具体过程和结果。抽象思维不等于哪一篇科学论文。

我也同意形象思维和抽象思维都是社会实践的结果。其实一切人脑活动是在生物因素的一定限制下，通过社会实践的作用而形成的。生物因素大概通过 DNA 遗传密码。人的审美和美感也是如此，所以我倾向于赞成李泽厚同志的美学观点。

我想人的思维不限于两种：形象思维和抽象思维。应该看看还有什么其他形式。不要关门！

我认为创造性思维中的“灵感”是一种不同于形象思维和抽象思维的思维形式。文艺工作者有灵感，科学技术工作者也有灵感，它是创造过程所必需的。凡是有创造经验的同志都知道光靠形象思维和抽象思维不能创造，不能突破；要创造要突破得有灵感。而灵感出现于大脑高度激发状态，高潮为时很短暂，瞬时即过；而形象思维和抽象思维则可以持续一个相当长的时期，人说“废寝忘食”嘛。

灵感是综合性的。人脑的综合功能是非常重要的，如：一，视觉图像的形成；二，自幼全盲的人也能作画，画出静止或飞转的轮子，这也是盲人通过触觉和听觉等的感受在大脑中综合成的图像（*New Scientist*，1980 年 2 月 7 日，第 386 页），“盲人摸象”的故事要修正了；三，人体特异功能。

---

① 吴廷嘉（1943～1997），女，重庆人，1981 年在中国人民大学获历史学硕士学位，中国社会科学院近代史研究所研究员，获国务院有突出贡献专家证书。沈大德（1943～1991），男，江苏盐城人，中国人民大学国政系毕业，中国社会科学院正处级科研人员，曾任中国社会科学院研究生院党委委员与社会学系副主任。二人合作著有《梁启超评传》等多部著作，发表论文百多篇，涉及史学、哲学、文化学、文学等多个领域。

研究思维科学不能用“自然哲学”的方法，得用自然科学的方法；即不能光用思辨的方法，要用实验、分析和系统的方法。所以说要脑神经解剖学家、脑神经生理学家、心理学家、计算机专家、人工智能专家、语言学家、逻辑学家、哲学家等的集体努力。

外国近来这方面发展很快。如 1972 年英国的神经生理学家和电子计算机专家 Hendrickson 夫妇就提出一个解释大脑活动的理论，（见 *New Scientist* 1980 年 1 月 31 日，第 308 页的大致介绍），那是比较深刻的理论，联系到信息编码、神经细胞、胞突接合体、前胞突膜和后胞突膜、膜间信息传递机理等。当然也不完备，还有不能解释的地方，但已深到分子运动的水平了。

所以我们要能读外文。

此致

敬礼！

钱学森

1980 年 7 月 1 日

选自《中国社会科学》1980 年第 6 期。

1983 年 6 月 2 日致戴汝为

戴汝为[①]同志：

5 月 22 日信和文章都收到了。能有您这样一位同道我是十分高兴的。时下，30 岁到 40 岁左右的知识分子，不说那些混日子的，就是那些想有作为的，也往往是“不学无术，游谈无根”，脑子里空得可怜！您抓住模式识别，干下去，必有成就，也是一个知识分子为人民服务了。

国外的 cognitive science 的确比我们的思维科学窄，但我想来想去，还是用这个词，但扩大其内涵变成我们的思维科学。当然，这是改造外国人的东西，有点“太岁头上动土”，敢不敢？

我也还没能打定主意，有没有现代科学技术的第七个部门，“信息科学”？原因是：现在有人把信息扩大到无边无际。如说化石，是地球信息；电磁波，是宇宙信息……。我认为大多数的信息还是同人连在一起好，同人的思维联系，所以

① 戴汝为（1932～），男，云南昆明人，1955 年毕业于北京大学数学力学系，中国科学院自动化研究所研究员、博士生导师，1991 年当选中科院院士；曾任中科院学部主席团成员、国家 863 计划智能计算机主题专家组副组长等多职；先后主持完成国家级重点、重大科研课题十多项，获中国科学院自然科学一等奖一项、国家科技进步一等奖一项，何梁何利科学技术奖，部委级奖多项，主编的《智能自动化丛书》获国家图书奖；著作有《社会智能科学》、《信息空间的大成智慧》（与钱学森合作）等多部，论文四五百篇。

《关于思维科学》就写成那个样子。我也会变！将来如果事实说服我有信息科学有关的部门，我也会认错。

我们的心理学界是劫后所余无几！我也找不到人，您那位搞“认识原理”的同志回来，是宝贝！

此致

敬礼！

钱学森

1983 年 6 月 2 日

选自戴汝为著：《社会智能科学》，第 197～198 页，上海交通大学出版社，2007 年 1 月第 1 版。

1985 年 2 月 26 日致李德华

李德华[①]同志：

谢谢您 2 月 10 日给我的 12 页长信。你们做了很多工作，令人十分感动！但印发了“思维科学论文集”，我过意不去，因为在北京讨论会上的稿子不成熟呀！现在才修改了，准备登在《大自然探索》上。那篇讲第五代计算机的东西，也是经过修改才登在《自然杂志》上的。

先成立地方学会，我没有意见。几个地方成立学会，也可以互相学习，比比高低，大有好处。对您那里的学会叫什么名字，大家看着办吧。

您信中讲的四个方面的研究工作，我觉得很好。我只是对第一个方面从脑科学成果中抽象出新的有限自动机理论，不那么乐观。Arbib 在 1964 年讲的，只是原则，具体做起来恐不易。

其余三个方面，我看核心是一样的。都是把人的形象（直感）思维数理化，数理化了就能上计算机，上了计算机就能解决知识获取问题、专家系统问题和模式识别问题。所以您提出的工作实际上是从三个途径去探索形象（直感）思维数理化，途异而同归。

对形象（直感）思维数理化的课题，也就是上次会议上讲的“突破口”任务。我最近和洪加威同志、马希文同志讨论后，认为：是把非单调逻辑的推理线

① 李德华（1946～），男，广东丰顺人，1970 年毕业于武汉大学数学系，曾为英国爱丁堡大学访问学者；现任华中科技大学教授、博士生导师、人工智能研究所所长、计算语言研究所所长；曾任国家重大基础研究“攀登计划”认知科学专家委员会委员、中国思维科学学会筹备组成员、《模式识别与人工智能》等五杂志编委；主要从事模式识别、人工智能和思维科学等研究工作，主持、参与十多项国家、省部级科研课题，发表论文 170 余篇。

索联成网，构成非常复杂的网络，形成逻辑“巨系统”。巨系统就可以出现“协同”现象，即简单逻辑所没有的功效：从逻辑转向形象（直感）思维！洪加威同志在去年6期的《中国科学A辑》上有篇文章与此有关，您可以看看。

我这些话有没有道理？请教！

所以我在赶超世界先进水平这个问题上是乐观的，您不必一定要等到您54岁的那一年！

此致

敬礼！

钱学森

1985年2月26日

选自《钱学森书信》第2卷，第180～182页，国防工业出版社，2007年5月第1版。

1986年5月28日致戴汝为

戴汝为同志：

5月24日信收到，祝贺您晋升为研究员！祝贺您出任思维科学学会筹备组副组长！

思维科学是非常重要的，似应译为 noetic sciences，是处理意识与大脑、精神与物质、主观与客观的马克思主义科学。很不容易！千万不能庸俗化！搞好了，是马克思列宁主义的胜利。

思维科学要用模糊数学，所以请您与北京师范大学汪培庄加强联系。

此致

敬礼！

钱学森

1986年5月28日

选自《钱学森书信》第3卷，第141页，国防工业出版社，2007年5月第1版。

1988年1月1日致戴汝为

戴汝为同志：

谢谢您的贺年片！我也向您拜年！

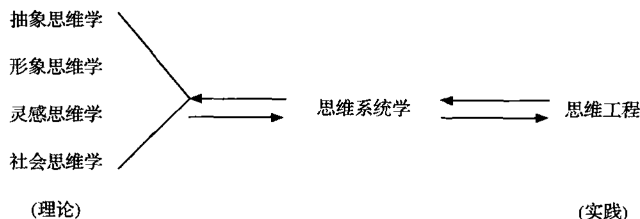
去年年底前在清华大学甲所的那次会有什么结果吗？我是不乐观的，因为大

家没有往一处使劲！

Stanford 的人，其想法有启发性，不确定、不明确即模糊，是思维的一个特征。创造就是从模糊到清晰，而这一点他似又未道破！文章及来信转汪成为同志，要他也看看，希望他能对此加以思考。

我近来看到一些文艺人讲文艺理论及审美问题的文章，又勾起我从前说过的老话：任何人们对具体问题的思维都是综合抽象思维和形象思维（有时还有灵感思维）以及社会思维的思维过程。但是人在思维，人的其他素质如生理因素及心理因素也一定会起作用。所以我现在想：作为思维科学的应用的具体思维应该是综合性的，是一项系统工程，叫“思维工程”吧。一般讲的科学思维、艺术思维、“领导思维”、创造思维、审美思维等等，都是思维工程。

指导思维工程的技术科学是思维科学中间层次的思维系统学。



这样考虑有无好处？请教。

此致

敬礼！

钱学森

1988 年 1 月 1 日

选自《钱学森书信》第 4 卷，第 110～111 页，
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1991 年 10 月 6 日致杨达

杨达同志：

9 月 14 日信及大作两篇已由郁文副院长转来，我十分感谢！但您自称学生，这使我不敢当，研究脑科学及思维科学我也是个学生，绝不能当人师呵！

从您的信及文章看，您似乎把脑科学与思维科学这两个不同现代科学领域混同了。脑科学专研究人脑的结构与功能，它与心理学相结合，专门攻研人脑的精神活动——其目的是建立一门以脑科学为基础的“精神学”mentalics，但因为人脑极为复杂，有人说人脑相当于万亿（10^{12}）台每秒运算 10 亿（10^9）次的电

子计算机并联后构成的体系，所以尽管国际上脑科学心理学是热门，能说清的问题不多，例如感觉问题还能讲清，而知觉问题就讲不清了；更不要说精神学问题了。

现在的思维科学研究不能等待脑科学、精神学的突破，因为我们面临一个十分迫切的问题，即怎样更好地利用并发挥现代电子计算机的作用来帮助人思维，从而极大地提高人的思维能力。十多年来所谓“专家系统”、“人工智能”都是这件事。所以今天和今后一个时期思维科学主要是从已知的思维经验规律，如逻辑（包括近代发展起来的高阶逻辑、摸态逻辑），来构筑人与电子计算机、信息库的高效思维系统。

您如感兴趣，可参阅上海人民出版社 1986 年出版的《关于思维科学》。那里曾提议攻形象（直感）思维，但对此全世界都未能找到门路。

以上供参考。

此致

敬礼！

钱学森

1991 年 10 月 6 日

选自《钱学森书信》第 6 卷第 116～117 页，
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1996 年 9 月 4 日致戴汝为

戴汝为同志：

您 9 月 1 日来信收到。我想核心问题在于如何认识人与客观（包括人自己、自己的脑）的关系，也就是毛主席的《实践论》，人与客观的相互作用是无止境的！所以，所谓理性主义是机械唯物论，所谓非理性主义是唯心主义，都不对，片面了！我们应该是《实践论》的辩证唯物主义，人脑的能力也是不断发达的。

人机结合是强调机器可以帮助人，人也可不断改进机器，历史不就是这样？现在人创造了电子计算机，又把脑活动测量直接输入电子计算机，是个重要改进；但您的学生胡笑平还是人机结合！

我想所谓“认知科学”是不赞同我们的上述观点的，所以我们用思维科学这个词，以示区别。认知科学英文是 cognitive science，思维科学英文可用 noetic science。外国人要接受辩证唯物主义恐有困难，所以我想也不能勉强他们，但我们不能让步，这是原则问题！当然我们在对待他们要礼貌、讲道理。

我国当前的学术讨论发挥民主集中制不够，那位成中英可能也缺乏社会思维的实践体会，所以书写得不太好。

就写这么多吧，祝您访欧成功!

此致

敬礼!

钱学森

1996年9月4日

选自《钱学森书信》第10卷第198～199页，国防工业出版社，2007年5月第1版。

第九章　关于思维科学基础科学的讨论

9.1　思维学问题的讨论

1987年7月6日致戴汝为

戴汝为同志：

奉上这个司马贺教授给我的信，请阅。我看教授先生把心理学，特别是他的认知心理学同思维学混在一起了！本来这个问题在我《自然杂志》1983年3期文已讲清楚，认知心理学就是上升到精神学（mentalics）也还是人体科学基础学科层次，属人体科学大部门。而思维学属思维科学大部门。怎么能混在一起？

当然外国人不懂我们讲的以马克思主义哲学为最高概括的科学技术体系，头脑不清也难免！

思维学的最终目的，不仅仅是能理解人的思维行为，它要创造出比人能达到的能力更大。请看：数理逻辑和抽象思维学不是比任何一个人的推理能力强吗？

以上的原因使我更想避开 cognitive science 这个词，用 noetic science 吧。

此致

敬礼！

钱学森

1987年7月6日

注文：司马贺是指 Herbert A. Simon，赫尔伯特 · A. 西蒙（1916～2001），司马贺是他的中文名。美国计算机科学家和经济学家，1975年获图灵奖，1978年获诺贝尔经济学奖，1994年当选为中国科学院外籍院士。

选自《钱学森书信》第3卷，第506～507页，
国防工业出版社，2007年5月第1版。

1988年1月23日致戴汝为

戴汝为同志：

来信敬悉。

我近日看到 Raymond Turner 著 *Logics for Artificial Intelligence*（Ellis Horwood Ltd，1984；影印书号 F203/63，英 3-5/4360，BG000150），才知道逻辑学近年来因计算机软件的需要而发展很大，早年数理逻辑的经典一阶逻辑已突破，出现了大量的非标准逻辑，如模态逻辑、三值逻辑、直觉主义逻辑、时序逻辑（temporal logic）、模糊逻辑等。但这些工作都是为了编软件的需要，一步一步，是“微观”的，我们搞思维学是要由这些微观组织构成思维结构，更上一个层次。可以说逻辑学犹如分子生物学，而思维学则是细胞生物学。上次信中说的思维系统以及思维系统工程，那层次就更高了，是器官生物学了。

这也说明：一面要请逻辑学家给我们提供构件，另一面我们要利用这些构件构筑我们的抽象思维和形象思维。这条思路有没道理？

因此我也想，您以前做的模式识别工作和语言学工作还是有用的。而陈霖同志的拓扑学观点失之于太整体了，反而无从下手。

以上所陈，您以为如何？请指教。

此致

敬礼！

钱学森

1988 年 1 月 23 日

此信复制件送汪成为同志。

选自《钱学森书信》第 4 卷，第 128～129 页，
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1989 年 5 月 14 日致戴汝为

戴汝为同志：

5 月 9 日信及大作稿《论人类思维及模拟智能》均收到。洋洋四万余言，可谓大观！所论问题十分重要，应写成为一篇划时代的经典性文章，所以我在下面提供几点看法，供尹红风同志和您参考：

我想文中所论问题“都是探索性很强的工作，人的主观能动性非常重要，‘死心眼儿’不行，机械唯物论也会误事；我们有辩证唯物主义这个锐利的思想武器，这是我们之所长。”（《求是杂志》1989 年 5 期 8 页）请注意运用马克思主义哲学。

所以要实事求是。我在 1983 年（见《关于思维科学》，上海人民出版社 1986 年，18 页）和 1984 年（上注，150 页）都一再强调，脑科学还没有达到 psychological mentalics 和 mentalics，所以这些属人体科学的学问尚不能作为研究思维和思维科学的基础。目前，我们搞思维科学（及技术）只能靠我们从宏观

上猜思维现象；当然不放弃从脑科学吸取点滴启发。近见 H. K. Kimelberg 、M. D. Norenberg 文更加深了这个认识：过去脑科学家们把占大脑体积一半以上的神经胶质细胞忽视不考虑，只注意神经元，现在才认识到原来胶质细胞也有重要作用！可见我们对大脑，连其基本结构和其组成部件之间的相互作用都还不清楚，侈谈模拟神经网络，可谓痴人说梦！

我反对在我们工作中随便用“神经元网络”这个词，那是不科学的。外国人用是他们的无知！

不是模拟神经网络；但就仅有的一点脑科学知识也会给我们一点启发，这就是网络。我前几年也提示过，我说形象（直感）思维不是（逻辑）思维那种线型的、一维的，是面形的、二维的（见《关于思维科学》135 页）。现在的名字叫 connectionism。这一启发与大脑的关系，就如人们要发明代替人走、人跑的机器，而从一个桶子滚动想到车轮一样。

人发明了车，坐车能代替人走路，但车又不能取代全部人走路的功能；有了车，还得下车会走！人工智能或模拟智能能代替一部分人脑的工作，但不能全部代替，人脑还是要的。所以我不同意智能机能全部代替人，也不会有什么机器人打败真的人！

大概一年前吧，我提出过“思维系统”，讲了思维体系的层次结构。这与您的文章不谋而合了。所以你们这一思想我很赞成。

文稿最后一节讲到哲学，怎么不提马克思主义哲学？第三种观点应该是辩证唯物主义的观点，那就不会陷入不可知论了。

文题中“人类”二字似可略去，有思维的还有不是人的吗？

我猜想：我们在考虑的层次，已比大脑细胞层次高得多。

总之，长文很有分量，我希望您二位再推敲一番，使之更上几级。

原稿附还。

此致

敬礼！

钱学森

1989 年 5 月 14 日

又：并行计算不也是 connectionism 吗？

选自赵光武主编：《思维科学研究》，第 598～600 页，
中国人民大学出版社，1999 年 8 月第 1 版。

1989 年 8 月 24 日致戴汝为

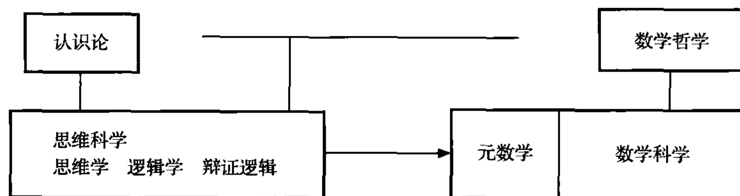
戴汝为同志：

您在美国开会一定接受了许多信息，现在我再为您提供点素材，一并可用来改进您和尹红风同志的五万言巨制《论思维与模拟智能》。我的这些想法也是出自我在准备 8 月 18 日给中国数学会理事会组织的座谈会时想到的，那篇巨制帮了我的忙，我对您二位表示感谢！

作为一个物质系统，如何去形容人脑？我认为应该用系统学的概念：人脑是由几万亿脑细胞组成的开放的复杂巨系统。对待复杂巨系统，现在和今后相当长一段时间里，只能用高层次的即宏观方法，用理论与实践相结合的方法去探讨。那种从微观做起，所谓神经网络模拟，是不切实际的；因此也是自欺欺人的。

思维科学和模拟智能的基本观点就建立在上述概念上。

思维科学的基础科学思维学产生描述思维规律的逻辑学。近年来，由于 K. Gödel、A. Turing 等人的启发，逻辑学由经典的一阶逻辑开拓为现代的各种高阶的模态逻辑（见 J. Barwise、S. Feferman 主编 *Model-Theoretic Logic*, Springer，1985，影印书号 F8710/7，英 2-2/2519，BGOO1220）。由逻辑学才产生数学科学的方法论，元数学（metamathmatics）；数学是以元数学为依据的。元数学不是数学哲学——数学科学的哲学概括，因为数学哲学的任务是说明数学在人认识客观世界中的作用。见附图。我在 8 月 18 日的会上强调：数学家要注意现代逻辑的发展，以开拓数学方法论的元数学。



反过来，搞思维科学、思维学和模拟智能的人不就更应该重视现代逻辑的新发展、模态逻辑吗？模态逻辑离得更近嘛。这我在去年初写的《思维的系统观——思维系统》中是说过的。

你们文稿中对搞模拟智能的起步该在什么地方，如何从人机结合一步一步提高？讲得少了些。

我认为这个工作设想是重要的，应当写清楚。

以上请酌。有何意见，望告。

此致

敬礼！

钱学森

1989年8月24日

又：西北大学数学系孟凯韬同志的工作不该注意吗？

选自赵光武等主编：《思维科学研究》，第600～602页，中国人民大学出版社，1999年8月第1版。

1992年11月4日致汪成为

汪成为[①]同志：

这几天认真读了您在今年初国防科工委科技委第一届年会上的报告：《抓住面向对象技术机遇——把软件危机转化为软件动力》，很受启示。

我想还是一个思维学的问题，计算机软件在以前是完全按抽象（逻辑）思维建立起来的，但人的思维还有形象思维。所以要人机结合，我们一定要让计算机软件像人脑那样工作。日本“第五代计算机”之失败即在于没有这种新软件。现在他们可能有点觉悟了，又要搞“真实世界”计算机，您看他们能成功吗？

我们有思维学的工作，应该胜他们一筹。近来有进展吗？我们不是要建立“形象软件”吗？“OO”即此意。

此致

敬礼！

钱学森

1992年11月4日

注文：OO：object oriented，译为“面向对象的”。

选自《钱学森书信》第7卷第4页，国防工业出版社，2007年5月第1版。

① 汪成为（1933～），男，原籍浙江奉化，生于上海，1956年毕业于北京师范大学；从事计算机、系统仿真等研究；曾任中国人民解放军总装备部科技委常委、国家863计划智能计算机专家组组长等职；1994年当选为中国工程院院士；曾荣立一等功，获全军英模荣誉奖章、国家科技进步二等奖两项、何梁何利基金科学与技术进步奖；著有《灵境（虚拟现实）技术的理论、实现和应用》等专著和科普读物等多部。

1993 年 1 月 10 日致戴汝为

戴汝为同志：

元月 2 日信收到。

一，吴鹤龄同志我不认得。杨春鼎同志是思维科学早年热心人之一，但他是搞文学的，毛病在于“浅”。

二，孟凯韬同志能深入，不“浅”。但我早就对他说，距离是几何概念，是空间的曲率决定的，您的思维链有什么几何性质？这个问题不解决，距离怎么定？

所以他的“思维数学”只是数学。

三，社会科学界还有位汤闯新（见《社会科学报》1992 年 11 月 19 日）真敢“闯”，说形象思维是文艺人使用的，科技人员用的是“具象思维”！真令人哭笑不得！

四，那位得 Fields Medal 的现任英国皇家学会会长 Michael F. Atiyah 也是乱说。我们不是谈过，数学的公理、定义和推理方法都来源于实践经验的概括，是不能用逻辑演证的。数学的公理、定义规定以后，又用公认的逻辑加以推演，那一套就是数学。代数如此，几何也如此。不然他怎么解释吴文俊的工作？

洋人洋人不过如此！他们的毛病就在于没有马克思主义哲学，最后也就落得个既“浅”又“笨”！

五，我们说人认识客观世界是靠实践，实践经验存入大脑。人以后又有什么感受（心理学家称“感知”），人就在大脑库存中搜索类似的感受或“感知”，一旦认为找到了，新的“感知”就按老经验加以解释，即“感性认识”，这个过程即形象思维。

六，形象思维似乎比逻辑思维更原始，但没有它不行；就连逻辑思维按上述（四）也来自形象（思维）的总结提炼而成。所以现在也有人在讲要机器人有人的智慧做不到，也许可以试试把人脑移植入机器人。我们是这样干的：人与机的结合嘛。

年假中还写了信送您，现在您该看到了。

这些话如何？请指教。

此致

敬礼！

钱学森

1993 年 1 月 10 日

选自《钱学森书信》第 7 卷第 84～85 页，

国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1993年3月10日致夏军

夏军[1]同志：

我很感谢您2月24日来信及寄来尊作《非理性世界》。书让我慢慢读，若有所得，再向您报告。

近见《哲学研究》1994（应为1993，编者）年1期52页有南京理工大学社科系吴远同志的《中国传统哲学中的直觉思维探微》一文也讲您研究的问题。我也已向吴远同志去信讲了我在给您信的意见。吴近回信说他将深入研究。您二位何不联系讨论？

我对此问题是从思维科学的角度来考虑的，大概自然科学的味道多一些，不是社会科学的方法。我在这里的同道主要是搞人工智能的专家，有中国科学院院士、自动化研究所研究员戴汝为同志。我提到的Santa Fe Institute也基本上是搞自然科学的，所以您看不到他们的文章，那都在科学刊物上，如美国的*Scientific American*，英国的*New Scientist*。您要进入自然科学吗？请先想想。

此致

敬礼！

钱学森

1993年3月10日

选自《钱学森书信》第7卷第148页，国防工业出版社，2007年5月第1版。

1993年3月25日致朱梧槚

朱梧槚[2]教授：

我非常感谢您3月19日来信及送来大作两册和丛书一大套；这些书我只能慢慢阅读学习，如有所得，再向您请教。但您信终署名用“学生”二字，这是我万万不敢当的，务请不要再用此称呼了！我们实是同志嘛。

① 夏军（1944～），男，上海人，复旦大学哲学系和上海社会科学院研究生毕业；曾任中共江苏省委党校副校长、上海市委党校（上海行政学院）副校长、教授，兼上海市科学社会主义学会会长等，1997年获国务院颁发的政府特殊津贴，从事马克思主义哲学等问题的教学与研究；著作有《现代西方非理性主义思潮》、《非理性世界》等。

② 朱梧槚（1935～），男，江苏宜兴人，1955年毕业于东北人民大学（现吉林大学）数学系，曾被打成“右派”，1971年又以“叛国罪”判刑10年，狱中仍坚持数学研究，1978年平反出狱，到南京大学任教，1988年升为教授；主要贡献是提出“连续统假设不可确定性”。

我和戴汝为同志一直认为数学本体，不论是代数还是几何，都是建筑在抽象（逻辑）思维上的。只是在创造公理和最基本的构筑概念时，在猜想证明的途径时，才用形象（直感）思维。所以也可以说：数学中的创造性在于形象思维，而数学中的劳动工具是抽象思维。直到今天，只有逻辑可以上电子计算机；所以吴文俊先生可以用计算机搞极其复杂的几何证明，但怎么用计算机，不能用计算机自动化，还得吴先生亲自设计，还要人。您以为如何？

再次表示感谢！

此致

敬礼！

钱学森

1993 年 3 月 25 日

选自《钱学森书信》第 7 卷第 169 页，

国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1993 年 4 月 2 日致戴汝为

戴汝为同志：

奉上南京航空航天大学计算科学研究所朱梧槚同志送来的一套书，请您放在您的助手班子中，让他们消化消化，看看有无对思维学有用的东西。这也是培养他们嘛。

我已回朱梧槚同志信了。我告诉他，您和我都认为几何和代数的推理都是抽象（逻辑）思维，没有思维科学上的不同。只有建立公理和定义时，才是创造性思维，要用形象（直感）思维和灵感（顿悟）思维。数学家在证明定理时（第一在提出问题时，第二在构筑证明途径时），也要用创造性思维。

近读了一本 *Psychology of Programming* 的书，得到启示。见面时谈吧。

此致

敬礼！

钱学森

1993 年 4 月 2 日

选自《钱学森书信》第 7 卷第 174 页，

国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1993年5月16日致戴汝为

戴汝为同志：

近读《哲学研究》1993年4期《从中医取“象”看中国传统抽象思维》（王前、刘庚祥著）颇有启发。故奉上该文复制件。

我觉得我们近年来常常谈及的有：

一，系统的整体观，即把握全系统的“形象”，而不是其一枝一节。

二，Arnheim的“视觉思维”是眼的感觉到知觉，与大脑中存储的从整体上比较，找出其相似的，是为看到并认识“形象”。

三，科学研究中heuristic，即启示性，推理。

四，中医里的“证（辨证论治）”即人体的整体状态。王前、刘庚祥文实际就是讲这个道理。

从这四个方面引申，就得出我们思维科学中的形象（直感）思维了。所以形象（直感）思维是系统整体思维。

请考虑。

此致

敬礼！

钱学森

1993年5月16日

选自戴汝为著《社会智能科学》第222页，
上海交通大学出版社，2007年1月第1版。

1993年8月8日致夏军

夏军教授：

我读了您在《中国社会科学》1993年第4期的《非理性及其研究的可能性》之后，很受教益。因我在近年来一直在探索思维科学的问题，感到人的思维也有理性与非理性的区别。今将所见陈述如下，向您请教。

一，我完全赞同您说的：要区别非理性与非理性主义；后者乃愤世妒俗之议，不足取，但应在社会学中加以研究，搞清其来由。

二，非理性可分为两大方面，因人的行为有先由人的大脑发出指令，或不通过大脑而行动之别。这后一方面是非理性的，如1）日常有许多由植物神经控制的动作，像人开步走后，就走下去，身体及腿脚动作是“自发”的。2）人也会因一时感情冲动而做出行为，也未经思考。

三，就是经过大脑思维的产物，也不见得都可以称为理性的，因为我们把理性说成是讲道理，能说得清的东西。而要说清，讲道理就必须用逻辑，即大家公认的推理规律，或说必须用抽象思维（逻辑思维）。这只是人思维的一部分甚至一小部分，而这才是道道地地的理性。

四，大脑活动，除抽象思维（逻辑思维）外，还有

1）做梦，即梦境——这是心理学的研究领域；

2）形象思维或直感思维；

3）灵感思维或顿悟思维。

以上三种大脑活动都说不上说理，所以也是非理性了。

五，梦的研究在心理学中是个大课题，因而也是非理性的大课题。

六，我特别要强调的是形象思维和灵感思维的重要性：在科学技术领域中，这两种思维是发明创造的动力，没有它们就不会有科学技术的突破。这一点在科技界是被公认的；大科学家像爱因斯坦就明确表示过，创造并非逻辑推理之结果，逻辑推理只是用来验证已有的创造设想。

七，文学艺术更是以形象思维和灵感思维为其全部活动的本质。文学艺术的创造是如此，文学艺术的欣赏也是如此。中国的文学艺术讲究意境，如王维的“空山不见人，但闻人语响。返景入深林，复照青苔上”，如韦应物的“野渡无人舟自横”。意境的创造，不论在作者还是在读者，都不是靠抽象思维或逻辑思维。

综上所述，非理性的研究绝不亚于理性的研究，不论在其内容的丰富，还是在其重要性。忽视它是错误的。因此我向您祝贺，您写了一篇好文章！

此致

敬礼！

钱学森

1993年8月8日

选自《钱学森书信》第7卷第316～318页，
国防工业出版社，2007年5月第1版。

1994年5月10日致潘云鹤

潘云鹤[①]教授：

① 潘云鹤（1946～），男，浙江省杭州人，1970年毕业于上海同济大学建筑学系，1981年获浙江大学计算机系硕士学位，留校曾任教授、系主任、人工智能研究所所长、副校长、校长；1997年当选为中国工程院院士；兼任国务院学位委员会委员等多职，2006年任中国工程院副院长；是中国智能CAD和计算机美术开拓者之一，完成国家攻关、863等15项科研课题，获国家科技进步二等奖以及省部级奖12项，发表论文300余篇，出版学术著作6本。

您5月4日信及大作《综合推理的研究》都收到，我十分感谢！

您把形象思维提炼到关键点集的对比，从而纳入逻辑运行，这是一大进步。但我认为关键点集是要害，而对此计算机是无能为力的，还得人来干。而人对关键点集的选择也不一定能一次成功，要多次尝试。所以还是人机结合才行。此意当否？请教。

此致

敬礼！

钱学森

1994年5月10日

选自《钱学森书信》第8卷第145页，

国防工业出版社，2007年5月第1版。

1994年5月30日致戴汝为

戴汝为同志：

附上一篇胡懋仁论文复制件，请阅。

我觉得作者把神经系统与思维系统混在一起了，所以也发生前送上那篇论文讲的，把认识与认知混在一起。我现在想到开放的复杂巨系统也会有层次，上一层次的开放的复杂巨系统又会包含着下一层次的子系统，而子系统又是开放的复杂巨系统。请看：

宇宙——地理系统——社会——人——人脑

一共有五个层次，每一层次都是开放的复杂巨系统。

而因为人脑工作的产物有思维，思维是我们从人脑的活动中概括出来的，思维不是脑细胞！所以把神经网络的工作直接作为思维的模型是不对的。不同的层次嘛！研究思维还是要用思维学。前次送上论文所讲的认识一认知问题，可能也在这里。

对吗？请教。

此致

敬礼！

钱学森

1994年5月30日

选自《钱学森书信》第8卷第180页，

国防工业出版社，2007年5月第1版。

1994年6月24日致陈立

陈立教授：

您让全国政协秘书处送来的尊作《应用心理学与基础理论》已收读，我对此要感谢您！我们的确长期未通信了，您身体安康吧？还北上到京！而我因已行动不便，所以不参加会议了，只在家读书看报思考研究问题。您比我强多了！

尊作引我的那篇文字，见于1957年，是旧货。在1984年8月我们在北京开了一次全国思维科学讨论会，后来我还受命编了一部文集，《关于思维科学》（新学科丛书，上海人民出版社，1986年7月1版）。从此我们还不断开拓研究思维科学，作为平行于自然科学、社会科学、数学科学、军事科学、人体科学、系统科学、行为科学、地理科学和文艺理论等九大部门的现代科学技术部门之一。思维科学的基础科学是思维学，它当然与脑科学、心理学等人体科学基础科学有密切关系，但思维学又不必等待脑科学和心理学，它可以从人类思维的极为丰富实践经验中总结出来。如抽象（逻辑）思维就早就是一门内容充实的学问。我们近年来还从所谓“人工智能”工作中试图构筑形象（直感）思维学；浙江大学的潘云鹤教授就在努力。我们认为形象（直感）思维是近期思维学工作的突破口。这方面一旦成功，那灵感（顿悟）思维，也就是您说的“玄机”也就变得不那么“玄”了。

近年来我们还就开放的复杂巨系统的方法论做了些探讨（《自然杂志》1990年1期3～10页；《模式识别与人工智能》1991年1期1～4页），提出从定性到定量的综合集成法，这是把人脑与电子计算机结合使用的思维方法。前几天（6月20至23日）中国科学院还召开了一次“香山会议”专门讨论这个方法论。

今年离您引用的那篇文字已37年了，我们还在不断努力！以上是向您的简要汇报，请指教！

我从您那里学到的那个词，ergonomics，现在也已由国家审定为“功效学”了。事物总是在不断发展的，但我们的工作仍必须以马克思主义哲学为指导，马克思主义哲学也因科学技术的不断发展而得到充实与深化。

此致

敬礼！

钱学森

1994年6月24日

奉上一复制件供参阅。

注文：信中提到的“我那篇文字”是指《技术科学中的方法论问题》一文，刊载于《自然辩证法研究通讯》1957年第1期。

《自然杂志》1990 年第 1 期刊载钱学森、于景元、戴汝为同志联合署名的文章《一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论》。

选自《钱学森书信》第 8 卷第 230～232 页，
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1995 年 3 月 16 日致戴汝为

戴汝为同志：

我近读路甬祥、陈鹰写的三篇讲人机一体化系统的文章和叶峻的讲特异思维的文章颇受启发，想到思维科学与人体科学以及计算机信息网络是该有一个什么样的关系。这也自然涉及科学技术体系的问题。所以比较重要，谨陈述如下，请考虑。叶峻的文章也附上供参阅。

一，我们要进一步分清什么是人体科学，什么是思维科学。现在我想所谓感觉和知觉都是人体科学中神经心理学要研究的领域；而更上一层的所谓感受则是精神学的研究领域。我们讲的社会思维学实是研究人在集体讨论所触发的大脑激化状态下的思维，所以它主要是神经心理学和精神学的事；只处理所获得的信息，那才是思维学的研究课题。

二，这就提出思维学是研究加工信息，而不是研究如何获得信息，那是人体学的事。人体学要研究人在集体讨论中大脑的激化状态。①

三，这样，思维学的任务就是怎样处理从客观世界获得的信息，包括Popper的“第三世界”这个非常重要的信息源，信息库，以获得改造客观世界的知识。处理可以只是人干，也可以人一机结合（机器干一部分）。

四，这样看思维学就只有三个部分：逻辑思维，微观法；形象思维，宏观法；创造思维，微观与宏观结合。创造思维才是智慧的泉源；逻辑思维和形象思维都是手段。

到今天，我们对逻辑思维研究得最深；对形象思维只是搞了个开端；对创造思维则尚未起步。对思维学我删去灵感（顿悟）思维、社会思维和特异思维，加一个创造思维。也把从前的抽象（逻辑）思维简称为逻辑思维，形象（直感）思维简称为形象思维。

五，有吴文俊的工作，所以逻辑思维的任务看来可以交给机器去干。而对形象思维的计算机化才开始，现在主要靠人。至于创造思维，现在只能靠人了。当

① 赵光武主编《思维科学研究》（中国人民大学出版社 1999 年 8 月第 1 版）和戴汝为著：《社会智能科学》（上海交通大学出版社 2007 年 1 月第 1 版）中所载此信的该段末，均有“人体学也要研究特异功能人是怎样接收处理信息的。”故加此注，备读者查证、研究。（编者）

然，人在思维过程中离不开信息网络。

以上五条，请指教。

此致

敬礼！

钱学森

1995 年 3 月 16 日

此信复制五份，分送王寿云同志、于景元同志、汪成为同志、钱学敏同志和涂元季同志。

注文：Popper：Karl R. Popper，卡尔·R. 波普尔（1932～1994），英国逻辑实证主义哲学家。

选自《钱学森书信》第 9 卷第 132～134 页，
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1995 年 5 月 29 日致戴汝为

戴汝为同志：

您来信收悉。刚从黄山归来又去参加科学技术大会，您是我们七人小组中参加学术活动比较多的。我近日又在想思维学的问题，现写在下面向您报告：

一，我们已划清人体科学与思维科学的界限。思维有三大类，即逻辑思维、形象思维及创造思维。而当务之急在于形象思维学的研究。

二，形象思维学解开了，才能去认真研究综合性的创造思维，metasynthesis。

三，过去对形象思维也有不少工作，但似乎是就事论事，没有指出形象思维是宏观的、整体性的。

四，现在我想宏观、整体性正是哲学的特点。我们说中国古代哲学有不少特色的宏观、整体性思想，所以对研究形象思维有帮助，我们应该从中吸取有用的东西。但我们怎能忽视当代哲学的巨厦——马克思主义哲学！因而我悟到研究形象思维要靠现代哲学——马克思主义哲学，辅以中国古代哲学之精华。这是非常重要的！西方学者在这一点上就差了，他们不懂这种关系。

以上当否？请教。

此致

敬礼！

钱学森

1995 年 5 月 29 日

选自戴汝为著：《社会智能科学》第 236～237 页，
上海交通大学出版社 2007 年 1 月第 1 版。

1995 年 6 月 28 日致杨春鼎

杨春鼎[①]教授：

您 6 月 22 日信及附作都收读。

戴汝为院士和我经过讨论，对思维学又有些发展，现向您报告如下：

一，我们要分清脑科学与思维学。人脑是怎么接收信息、存贮和处理的？属脑科学，而这是很难的学问，到今天也是议论纷纷。思维学是研究思维过程和思维结果，不管在人脑中的过程。这样我从前提出的形象（直感）思维和灵感（顿悟）思维实是一个，即形象思维，灵感、顿悟都是不同大脑状态中的形象思维。另外，人的创造需要把形象思维的结果再加逻辑论证，是两种思维的辩证统一，是更高层次的思维，应取名为创造思维，这是智慧之花！

二，所以归纳为逻辑思维、形象思维和创造思维。从前提过的“社会思维”、“特异思维”等皆不同脑状态下的思维，仍不出以上三种基本类型的思维。

三，形象思维要深化。您认得的南京邹伟俊同志不久前提出“泛化”的概念，是大跨度的形象飞跃。如科学中，从太阳系，一下子到原子结构，飞跃过宏观到微观；也从太阳系，一下子到星系，再到星系团，飞跃过宏观到了宇观。“泛化”是邹伟俊的大发明！

四，对教育，14 年到硕士是必须用计算机和信息网络的辅助的。是大成智慧工程的未来教育。

以上这些话，都飞到 21 世纪去了。您现在还为您的儿子女儿忙您说的“应试教育”！

此致

敬礼！

钱学森

1995 年 6 月 28 日

选自《钱学森书信》第 9 卷第 273～274 页，

国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1996 年 1 月 4 日致戴汝为

戴汝为同志：

您在去年 12 月 27 日晨的来信收读。我认为人的思维从根本上来说是人脑在

---

① 杨春鼎（1943～），男，江苏扬州人，1966 年毕业于南京大学中文系，淮南师院中文系教授，兼中国思维科学学会筹备组成员，安徽省美学学会理事；著作有《形象思维学》等多部，论文若干篇。

接受了实践感受后的结果，是人脑的产物。分三类：一，逻辑思维，这是总结了大量思维之后，得出的体系化思维；二，形象思维（包括灵感思维）则是从实践中体会出的，但还未形成体系的思维；三，创造思维，即前两种思维的有机结合。H. A. Simon 的工作是有意义的，在于他努力从无规章的思维中找出规章，即符号体系，从而纳入逻辑思维，能进入电子计算机。但这一工作永无止境，困难不少；不能因而就排除形象思维，那会使人变傻。您和您的学生做的手写数码机器识别工作就是一例；不是最后还得用人机结合吗？

W. Clancey 的观点强调了“智能体（实即人脑·实践）”的作用是对的，但他似又堕入经验主义哲学，而不是辩证唯物主义的“实践论”。

以上是我读了来信后的一点看法。对吗？请指教。

总之，我赞成您组织班子深入分析两派观点，以提高我们对思维学的认识。我们要搞的是辩证唯物主义的思维科学，不是机械唯物论和唯心主义的“认知科学”。我们要从斗争中锻炼提高我们自己！

此致

敬礼！

钱学森

1996 年 1 月 4 日

选自戴汝为著：《社会智能科学》第 240～241 页，上海交通大学出版社 2007 年 1 月第 1 版。

9.2　抽象思维问题的讨论

1985 年 2 月 11 日致洪加威和马希文

洪加威[①]同志、马希文[②]同志：

---

① 洪加威（1936～ ），男，江西永新县人；1960 年毕业于北京大学数学系，1965 年研究生毕业，1976 年研制出“切割线语言”——XY 语言，填补了国内空白，获国家级科学技术进步二等奖；曾以客座教授身份去加拿大和美国研究和讲学；1980 年在第 21 届计算机科学基础会议上提出的《计算的相似性与对偶性原理》，把图灵论题从本质上向前推进了一步；曾任北京计算机学院院长与计算机教授，是著名的计算机专家。

② 马希文（1939～2000），男，河北枣强县人，1959 年于北京大学数学力学系毕业后留校任教，熟悉多种语言；首批派往美国的访问学者之一，在数学领域建树颇多，在语言学方面也有突出贡献，是中国人工智能、计算语言学的奠基人之一；曾任国际人工智能大会程序委员会委员等多职；对 863 计划 306 主题的立项起了重要作用；20 世纪 90 年代旅居海外，曾在 CEON CORPORATION 担任首席科学家；著有《逻辑-语言-计算，马希文文选》等。

上次您二位来谈，马希文同志说到巨型机发展的并行运算会对智能机有用，对我有启发，我一直在想。现在见到马希文同志《哲学研究》1985 年 1 期上的文章，更想到 1981 年 5 期的文章，似有所得，陈述如下，请教：

我以前知道的逻辑是单调逻辑，不管推理过程有多长，都是成线型的，接不上别的推理串。所以我曾把逻辑思维（即抽象思维?）称作是线型的。现在才知道有非单调逻辑，推理可以从一条线接到另一条线，有枝杈，接成网了。这样就不是线型的了，扩展为平面的了，“一维”变“二维”。我以前曾把形象（直感）思维称作面型的。

这样一来，推理就形成一个系统，只不过这个系统不是用多元代数联立方程或多元联立微分方程来表达的，而是用逻辑符号来表达的。用多元代数联立方程或多元联立微分方程表达的系统是可以表现出许多特别的功能的，这是我说的系统学（H. Haken 称为“协同学”，synergelics）；那么用逻辑符号表达的系统也有可能表现出单调逻辑那种线型思维所没有的功能。这就可能是智能，是直感，是创造！

我们研究智能，这才是关键！Fuzzy reasoning 不见得是真正的途径！我们要建立逻辑系统学。(这个系统的观点，在人工智能工作也已有苗头了)。

以上想法可能是胡说，请二位指教。

此致

敬礼！

钱学森

1985 年 2 月 11 日

请参阅拙作 238 页、263 页。

注文：H. Haken：Hermann Haken，赫尔曼·哈肯（1927～），德国物理学家，协同学的创始人。

选自《钱学森书信》第 2 卷，第 163～164 页，国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1985 年 5 月 20 日致汪培庄

汪培庄[①]同志：

① 汪培庄（1936～），男，湖北黄冈人，1957 年毕业于北京师范大学数学系，1983 年任教授，1998 年退休，民盟盟员，博士生导师；1988 年授予国家级有突出贡献中青年专家称号；曾任国际模糊系统学会副主席等许多社会职务；我国模糊数学研究领域的开拓者之一，先后在国内外多种研究刊物上发表学术论文 100 余篇，著书 4 部，论著多次获奖；提出落影空间的重要理论框架、因素空间理论和真值流推理理论；国家自然科学基金重大项目《模糊信息处理、思维决策与机器智能》主持人，指导博士生研制成功我国第一台模糊推理机样机（世界上的第二台样机）。

5 月 8 日信及附件都收到。周波同志的来件已转洪加威同志及马希文同志。蔡文同志的信及文章也收读。

我理解：您和蔡文同志的思路是相近的；而“物元分析”迹近国外“创造要术”之类的东西，实际是初级的包教包会。因此你们都没有接近核心问题：逻辑网络巨系统可不可以出现“协同”作用，出现“有序化”现象？我想这个“有序化”就是“智能”、就是形象思维或直感。

所以前次请您看的洪加威同志的信及文章是和我的想法接近的，多路并行推理的巨大作用。但他不懂协同学，所以还差一点，巨大作用还未巨大到“飞跃”即“有序化”，出“智慧”。“不那么笨了，但尚未变得聪明！”

也许您是有计划在将来搞这个“飞跃”的，那我以上的话就该收回，等着看您以后的成果。所以来稿奉还。静候佳音！

此致

敬礼！

钱学森

1985 年 5 月 20 日

选自《钱学森书信》第 2 卷，第 292～293 页，
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1989 年 8 月 30 日致戴汝为

戴汝为同志：

8 月 24 日函谅已见到。

近读《自然辩证法通讯》1989 年 3 期中有南京大学哲学系郑毓信同志《逻辑哲学与哲学逻辑》文。外国人是在考虑问题，但思想缺科学技术体系概念，也当然没有辩证唯物主义作指导，结果是混乱！郑毓信同志做了些整理，但我看也不如我们：

一，逻辑哲学实是思维学。

二，牛津传统下的“哲学逻辑”实是想打开古典一阶逻辑的困境，想用自然语言等途径去开拓，所以同摸态逻辑、非标逻辑等是一致的。这也就是我们说的广义的、新涵义的逻辑学——思维学的逻辑学，也就是从思维学规律整理出来的逻辑学。这样把牛津传统下的“哲学逻辑”与雷歇意义下的“哲学逻辑”统一起来了。

郑毓信同志您认得吗？看来他对我们的思维科学观点不知道，要不要启发启发这位中年人？

另附近稿一份，请指教。

此致

敬礼！

钱学森

1989年8月30日

选自《钱学森书信》第5卷第29～30页，国防工业出版社，2007年5月第1版。

1991年4月30日致马佩

马佩[①]教授：

蒙赐尊作《辩证逻辑教程》，十分感谢！拜读后深受启示，现将我的体会陈述如下，请指教。

一，辩证逻辑实是辩证思维的规律，是思维科学的重要内容。

二，辩证思维是什么？它是人们从事将感性认识上升到理性认识的思维过程。

三，这一思维过程是高度复杂的，是我们一批搞系统学的同道称为从定性到定量综合集成法（以前称定性与定量相结合综合集成法），用来处理开放的复杂巨系统时的思维过程。定性就是点点滴滴、不全面的感性认识；定量就是全面的、深化了的理性认识。这一转变是一个飞跃，所以是辩证思维。

四，我们从实践中，即在对开放的复杂巨系统的研究中悟到：这种思维过程是高度综合的，包括：抽象（逻辑）思维、形象（直感）思维、社会（集体）思维以至灵感（顿悟）思维。所以辩证思维是高层次的，是思维科学中一大难题。现在离完整的理论尚远。您的书收集甚丰，是珍贵的资料。

五，也因此，书后面的附篇，讲“辩证逻辑”的形式化，是对辩证思维的误解。

总之，研究学问，切忌脱离实际，从书本到书本！

此致

敬礼！

---

① 马佩（1929～），男，河南省巩义市人，1950年7月毕业于河南大学政治系，现为河南大学教授，逻辑研究室主任，曾任中国逻辑学会理事等多职；1990年被河南省命名为优秀专家；1993年获曾宪梓高等师范院校教师奖；撰写专著、教材23本，论文60余篇，获国家教委优秀教材一等奖一次，省优秀论著奖三次。

钱学森

1991 年 4 月 30 日

附呈拙文数篇。

选自钱学森著《创建系统学》第 415 页，
山西科学技术出版社 2001 年 11 月第 1 版。

1991 年 8 月 20 日致李未

李未[①]教授：

7 月 26 日信及大作《一个开放的逻辑系统》都收到，十分感谢！

我只能讲以下意见，供您参考：

一，这项成果打破了一阶逻辑的封闭性及僵化，为计算机帮助人去推进对客观的认识走出重要的一步。但因我不是逻辑学专业工作者，我不知道这一思路在众多的高阶逻辑中是否已涉及。在文章的开头“引言”似应对过去高阶逻辑的工作有个评述，明确本文的贡献。

二，发明发现之核心，倒不在于推理，而在于找到打破旧规律的事实。这是爱因斯坦超人之处。这个关键工作看来还得靠人。

三，所以仍然是人机结合的智能系统。您的贡献在于让计算机多做一些事。

以上不知是否有当？请教。

此致

敬礼！

钱学森

1991 年 8 月 20 日

选自《钱学森书信》第 6 卷第 94～95 页，
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1991 年 10 月 25 日致戴汝为

戴汝为同志：

---

① 李未（1943～），男，北京人，1968 年毕业于北京大学数学力学系，1983 年获英国爱丁堡大学计算机系博士学位；曾任北京航空航天大学教授、博士生导师、校长、党委副书记，兼任国务院学位委员会委员等多职，第十届全国政协委员；1997 年当选为中国科学院院士；获国家自然科学二等奖、光华科技进步一等奖、国家科技进步二等奖、国家教学成果一等奖、何梁何利科技进步奖各一项；发表论文 100 余篇、专著一部。

为了您写辩证思维的重要文章，我提请注意《马克思恩格斯选集》第 3 卷 545 页及 546 页上两段文字。

看来恩格斯早就提出“辩证思维”的概念，而且明确了这是人所特有的，其中“悟性”十分重要。我们只是更加提得尖锐些，把“悟性”归结为“直觉”、“灵感”这种非理性思维活动；所以是在做一点发展深化工作。

至于“辩证逻辑”，按恩格斯的话，实是现代逻辑学中的多阶逻辑，即模态逻辑，也可以说是逻辑系统。所以辩证逻辑仍属抽象（逻辑）思维。

辩证思维是三种思维的综合，才是思维系统。这样比 1988 年提出的“思维的系统观”又进一步了，更明确些。

我们搞人机结合的智能系统，就是叫电子计算机及信息系统干它们能干的“理性”的事，把人留在只有人脑这个复杂巨系统才能干的“非理性”的事；并让二者有机地结合起来。这至少是个技术革命！

以上请考虑。

此致

敬礼！

钱学森

1991 年 10 月 25 日

又：看来要弄清形象（直感）思维和灵感思维只靠我们这些人不行，要请心理学家、脑科学家和文艺人共同努力。下个世纪的事了。

奉上复制件也是让机器复现人能见到的形象。

注文：信中说的《马克思恩格斯选集》是指中文版（人民出版社 1972 年 5 月出版）。第 3 卷第 545 页及第 546 页上的两段文字应是：“悟性与理性。黑格尔所规定的这个区别——依据这个区别，只有辩证的思维才是合理的——是有一定的意思的。”“辩证逻辑和旧的纯粹的形式逻辑相反，不像后者满足于把各种思维运动形式，即各种不同的判断和推理的形式列举出来和毫无关联地排列起来。相反地，辩证逻辑由此及彼地推出这些形式，不把它们互相并列起来，而使它们互相隶属，从低级形式发展出高级形式。”

选自《钱学森书信》第 6 卷第 135～136 页，
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1992 年 7 月 14 日致戴汝为

戴汝为同志：

附上两篇复制件，请阅并考虑以下问题：

一，这里的“fault utilization，错中学”，还是“genetic olgorithm”和多年前就兴起的“Monte-Carlo 法”，都是实验求解。这是不是一种“非理性方法?”“非理性”是利用问题本身的结构去“试出”答案，而不是逻辑推理，是宏观

方法。

二，若如此，思维学就应该对这些方法加以总结，得出“非理性”思维的理论或“非逻辑求解的思维学”。

三，若再进一步，那就是把“逻辑求解的思维学”与“非逻辑求解的思维学”有机地、辩证地结合起来，成为更高阶的“思维学”。

当否，请教。

此致

敬礼!

钱学森

1992 年 7 月 14 日

选自《钱学森书信》第 6 卷第 337 页，

国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1992 年 8 月 12 日致汪成为

汪成为同志:

收到 7 月 26 日信及您复印的 *Artificial Life* Ⅰ、Ⅱ。我同意您关于我们工作的观察，“将会深刻地影响着人类的物质文明和精神文明”。

毛泽东同志在《实践论》中阐明的真理：人从实践经验的总结先在大脑中形成感性认识，那是点滴零碎的，然后再进一步分析综合，运用过去积累的知识，加工成理性认识。但这不过是一次认识的循环，还要把得到的理性认识运用于实践，开始第二个循环……无穷无尽。以此来考察思维，则抽象（逻辑）思维是人长期实践经验的总结，概括出的规律。一阶逻辑，比较成熟有把握，所以敢于用它“深加工”，从公理、定义得到可以信赖的定理，中间不需要再与事实核对，“抽象”即此而言。

但对一时还没有搞清的问题，只有零碎概念，那抽象（逻辑）思维是无法下手的。这时要根据《实践论》，把感性认识的点点滴滴用一个软件把它“缝”起来，如计算结果同实践经验能对上号，那这个“软件”就能用，范围只限于已验证的范围。所以这个方法是每一步都离不开实践经验的“形象”的，因此称形象（直感）思维。但也因此可以应用于比抽象（逻辑）思维更宽阔的范围。所以您说的各种软件是大有可为的，但它寸步离不开与实践经验的对比和纠正。这可就是人的作用了，所以是人—机结合。将来软件设计得更好了，步子可以迈大一点，人的干预少一点，自动化程度高一点。neutral computing 也如此，其 intellegence 有限得很。

这样我们就用马克思主义认识论把思维学中的几种思维统一起来了。所以我

赞成您在信中讲的那一段话。

以上我讲的对不对？请教。书退还。

此致

敬礼！

钱学森

1992年8月12日

此信已复制送王寿云同志及戴汝为同志。

灵感（顿悟）思维与形象（直感）思维有相似处，只是前者用梦境来解放思想。

选自王寿云等：《开放的复杂巨系统》，第282～284页，
浙江科学技术出版社，1996年12月第1版。

9.3 形象思维问题的讨论

1981年4月22日致杨春鼎

杨春鼎同志：

3月20日来信及来稿收读。您的著作是讲文艺理论的，而我对此是个外行，所以不能作出准确的判断。因此我把《形象思维新论》寄给了《哲学研究》编辑部，请他们审阅，他们会和你联系的。

我对形象思维的看法，以及对思维科学的看法（见附文），和您似有不同：

一，我把抽象思维和形象思维以及灵感，都作为人有意识思维（即受意识控制的思维）的不同形式。在一个创作过程中，三者都有，不是只有形象思维。文艺如此，科技工作也如此。

二，感性认识和理性认识是人认识事物的两个阶段，不是思维形式；不能说感性认识就只用形象思维，理性认识只用抽象思维。要达到任何一个认识阶段往往要用多种思维形式：抽象思维、形象思维以及灵感。

三，因此，我认为您的《新论》是超出了形象思维问题了，您讲了文艺的创作过程和审美。

四，抽象思维已结晶成逻辑学，形象思维呢？现在人工智能中研究的“模式识别”也许有朝一日凝聚成“形象思维学”。

电子计算机能不能思维？人脑左右半的分工是固定的吗？您文中讲得太死了，我认为不宜定论。

以上供参考。

祝您取得成就，并致

敬礼！

钱学森

1981 年 4 月 22 日

选自《钱学森书信》第 1 卷第 153～154 页，

国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1981 年 11 月 23 日致杨春鼎

杨春鼎同志：

10 月 6 日、11 月 7 日信收到，很高兴能看到您的相片，也希望您能经常锻炼，保持健康以多作贡献。您给杨敏如副教授的文章已送去。

您生活中的事，看来一时难于改善，这也是我国广大知识分子所面临的问题：党中央对知识分子的政策是正确的，党的主席耀邦同志也一再讲，这个政策不变，但 2000 年封建社会和小农经济的影响未清除，积重难返！然而中央的政策总要贯彻，不然怎么实现四化呢？

为了迎接这一天的到来，我们还应努力钻研，下面谈几点意见，供您参考：

一，我们说人思维过程中可以分清具有不同规律的三种思维是抽象（逻辑）思维、形象（直觉）思维和灵感（顿悟）思维，（顿悟二字似为释家语）。现在对后两种思维似乎还有分不太清的情况。您在《灵感与美的创造》所引的一些名家言，也有这个毛病。附上张光鉴同志的文章也有这个毛病。我认为对三种思维的区别，一定要划清，不然无法研究下去。这一点请注意。

二，我们说思维学包括抽象思维学、形象思维学和灵感思维学等，是讲思维科学的基础科学、基础理论。把它应用到人的思维活动的某一方面，如您讲的美的创造，或黄治正、杨安仑同志的人的情感（《求索》1981 年 3 期 70 页），那是应用研究。这就如物理、化学、数学是基础科学，应用到设计炼铁炼钢厂就是应用技术，是工程技术。黄、杨把情感思维列为第四种思维是不对的，我已写信通知他们了（他们也承认）。这一点也请注意。

三，既然要用自然科学的方法研究思维科学，涉及的学问就很多（见我的文章），个人单枪匹马，恐难奏效。您应在学校中找同道，在物理、数学、生物各科找有志于此者，组成小组，共同讨论学习。学校中找不齐，到淮南市找；淮南市找不齐，到蚌埠市去找，……。集体的作用非常重要，这一点也请您注意。

《教学研究》退还，心想您可能要保留它。

此致

敬礼！

钱学森

1981 年 11 月 23 日

选自《钱学森书信》第 1 卷第 161～163 页，

国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1983 年 6 月 18 日致杨春鼎

杨春鼎同志：

两次来信和《形象思维学导引》合订本、散装各章都收到。

我越看认为的确是“导引”，因为书稿一方面讲了思维基础的大脑和感觉活动，另一方面又一下子跳到文艺中的形象描述手法。这就“导引”出个空白，即形象思维本身，也就是形象在意识中的出现，如何出现的。这是大难题。

难，因为抽象思维比较简单，一步一步推论下去，就如从一点到下一点，……，可以说是线型的。而形象思维呢？从人的语言来说，有口音、同声字、错发声、文句错误等的干扰，但我们还是能准确地领会原意；至于图形的识别就更明显了。不是线型的，是多路并进的；不是流水线加工，而是多路网络加工。所以形象思维是面型的。多了一维，难呀！

至于灵感思维就更复杂了，它涉及潜意识，多个自我。不但局限于“显意识”了；显意识一层，潜意识一层、或多层。所以灵感思维是体型的，更难弄了。

以上线型、面型、体型说，可有道理？刘奎林同志说，他赞成，您以为如何？

这不是泄气，明白难处，也是进步！

此致

敬礼！

钱学森

1983 年 6 月 18 日

选自杨春鼎：《形象思维学》第 185～186 页，

中国科学技术大学出版社，1997 年 9 月第 1 版。

1983 年 12 月 3 日致刘奎林

刘奎林[1]同志：

① 刘奎林（1938～），男，黑龙江省龙江县人，1965 年毕业于哈尔滨师范大学数学系；黑龙江省委党校教授，享受政府特殊津贴；中国思维科学学会筹备组成员，黑龙江省思维科学学会理事长；著作有《灵感——创新的非逻辑思维艺术》等多部，论文 20 余篇。

附上袁绪兴同志的来信复制件，请您看看。我认为他是认真的，但他对灵感思维是有保留的。

我近来又想了想形象（直感）思维的问题，觉得我在《关于思维科学》讲的，只是开了头，还未讲透！现在我想文艺人论形象思维离开了思维规律，讲到内容上去了，所以提得很高，有点玄乎。其实，人在成长过程中是先有形象思维的，以后才学会抽象思维；小孩子就用形象思维，只是不那么高明罢了。人们日常生活中的语言交往、识字看图，都是形象思维。而且一切“只能意会，不可言传”的东西，如根据经验的判断、工程师的决心、老师傅的手艺等等，其基础是实践，其形式是形象思维。这样我们就把形象（直感）思维拉下文艺的庙堂，到了日常实际中来了。这是有利于形象（直感）思维的研究的。

这也就是说文艺人讲形象思维总扯到美学上去，把问题搞复杂了，我们要分清。

一旦对形象（直感）思维有了理解，成了科学，自然对灵感（顿悟）思维也会有帮助。

您以为如何？

此致

敬礼！

钱学森

1983 年 12 月 3 日

选自《钱学森书信》第 1 卷第 265～266 页，

国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1984 年 2 月 8 日致陈霖

陈霖[①]同志：

元月 25 日来信及建议成立思维科学研究室的材料都收到。

张光鉴同志在为思维科学的事奔走，上面支持，大有希望。他说将在一季度在京搞个小型会议，到时请您参加。

我认为您在复制材料讲的 Minsky 和 Papert 的证明非常重要，我同意您说的

① 陈霖（1945～），男，生于成都，原籍福州，1970 年毕业于中国科技大学，曾为美国加州大学访问学者、Sloan 基金会博士后、德国慕尼黑大学访问教授；现任中国科学院生物物理研究所脑与认知科学国家重点实验室教授、主任、博士生导师，兼多项国家重点项目首席科学家、主持人；全面、系统地发展了“大范围首先”的视知觉拓扑结构和功能层次理论；2003 年当选中国科学院院士；2004 年香港求是基金会授予“杰出科学家奖”；2009 年当选国际认知科学联合会主席。

它“反映了拓扑性质的深刻的大范围本质”。但更重要的是：它说明当前计算数学或甚至数学本身的局限性，也就是我猜想的形象思维是另有一套的，决非抽象（逻辑）思维所能也。这将引起计算机科学技术或甚至数学科学的变革！

您何不为此写一篇高级科普？六七千字。可以送《自然杂志》或四川的《大自然探索》。事关重大，请勉力为之！

此致

敬礼！

钱学森

1984年2月8日

选自《钱学森书信》第1卷第335～336页，

国防工业出版社，2007年5月第1版。

1984年3月16日致刘奎林

刘奎林同志：

3月10日信及《领导科学教学大纲（征求意见稿）》都收到。我翻看了《大纲》，觉得：一，提控制论、信息论、系统论三论，这不妥，系统论、系统的概念才是主导的，其他二论则是属从的。三论不能并列！二，领导的一条是建立高效能的组织体制，这在《邓小平文选》中多处强调，而《大纲》中不显明，应该大书特书！

当然我对“领导科学”这个词是不满意的，是该用“领导科学与艺术”。已经把“科学”放在“艺术”之前了嘛，一个世纪之前恐怕只能说“领导艺术”罢！我们要实事求是呵！

关于思维科学，我现在以为突破口在形象（直感）思维；而灵感（顿悟）思维是形象（直感）思维从显意识扩大到潜意识，在更大的范围搜索问题的解答。从形象思维到灵感思维，因此是个文化素养、知识素养问题；不博学不行，没有多方面的生活实践不行。

为什么说突破口？因为中国科技大学生物物理系的陈霖同志说形象思维在人的语言交往、看图识字中是普遍存在的，但以前分析研究沿用一套实际是逻辑方法，即抽象思维方法、电子计算机方法，所以不得其门而入。现在知道不对了，岂非大好事？这就是突破口。

请考虑。

此致

敬礼！

钱学森
1984 年 3 月 16 日
选自《钱学森书信》第 1 卷第 363～364 页，
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1984 年 7 月 27 日致王南

王南[①]同志：

7 月 20 日信收读。您称我为老师，我很不敢当，还是同志吧。

您的《论形象思维的普遍性》一文，我在《求是学刊》上就拜读了，也很高兴看到《新华文摘》录用。我想我们国家的一些同志泥于旧说，认为只有抽象思维才称得上思维，形象思维则是原始型的，不登哲学的庙堂！您的文章很好，充分说明了形象思维的重要性。我尤其欣赏您指出的：形象思维先于语言，也先于抽象思维。古人云："只能意会，不可言传"，也似是说形象思维先于抽象思维。

从此也引出又一个道理：现代科学的体系是以抽象思维构筑起来的，虽然创造科学要靠形象思维。人的经验却远远大于现代科学；许多人的认识，是实践经验，非常宝贵，但尚未能提炼成科学，逻辑结构残缺不全。运用这些经验，常常要靠形象思维，或直感思维，也是"只能意会，不可言传"。这就更说明形象思维的重要性了。

知道这个道理也就明白，外国搞什么模式识别、机器听话音的人，只用数理逻辑的抽象思维方法，是注定要失败的。要用"专家系统"，引入经验法则才行。据说最近也有几个外国人工智能专家悟到此理了。您以为如何？

此致

敬礼！

钱学森
1984 年 7 月 27 日
选自《钱学森书信》第 1 卷，491～492 页，
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

---

① 王南（1928～），男，原籍河南，1961 年毕业于南开大学，1980 年人天津社会科学院，研究员，研究美学与思维科学；论著有《美的本原》等多篇，《论形象思维的普遍性》被收入钱学森主编《关于思维科学》，1988 年离休。

1984 年 9 月 17 日致陈霖

陈霖同志：

9 月 7 日信收到，也接到贵校师资部门寄来的提级评审材料。事物性的工作不必谈了，我们讲点学术吧。

视觉问题的确重要，而这方面关于信号接收和信号传递的问题比较好办，已有眉目；难就难在您在攻的问题：信息处理及判断。说这个问题重要还在于它与形象（直感）思维密切相关，可能是其基础。所以如果说形象思维是思维学的突破口，那视觉中信息处理及判断就是突破点了。

您的观点很重要：视觉判断的层次是从整体性开始，越整体的越在前；先拓扑，而后投影几何，而后仿射几何，最后才是欧几里得几何。但人的逻辑思维以及数学发展却与此相反，拓扑是几何的最新发展。我想这也许是形象思维与抽象思维的根本区别；而过去我们按习惯的老路子去走，按抽象思维的路子去摸索视觉、形象思维，当然不行！简直笨得可笑，用大电子计算机去算，算了半天还比不上人的瞬时判断准确！

但如何把走倒的方向倒过来？从整体开始，不从局部开始，有什么捷径？您找几何学家谈过吗？他们不是在搞整体分析吗？

我这样看问题，对不对？请教。

此致

敬礼！

钱学森

1984 年 9 月 17 日

戴汝为同志说他们要建一个国家级的模式识别试验室。

注文：钱学森在中国科学技术大学职称评审部门寄来的材料上写了他对陈霖教授提级的鉴定意见，也是他对发展思维科学的看法，故附后供读者参考。

钱学森“对陈霖教授提级的鉴定意见”

同行专家教授的鉴定意见 （对确定或提升职称的教师担任现职以来有代表性的论著、译著、教材及其他成果的鉴定）
人们讨论形象思维已有千年，但不如抽象思维那样蔚然成章，形成科学的逻辑学以至数理逻辑，形象思维还不是科学，“只能意会，不可言传”。 就是作为形象思维的初级类型的视觉机理，近几十年来心理学家、生理学家以至生理心理学家们作了不少努力，对视觉信号的神经接收、神经传递等方面有重大的突破，取得不少成果。但在最后阶段的信号处理，形成判别认识图像等方面却仍处于茫然的境地。在这个重要问题上如无突破，那视觉的机理就搞不清。视觉的机理不清楚，要把人的形象思维研究变为一门科学也就十分困难了。

陈霖同志的近年工作集中在视觉机理的信号处理、判别这个重要问题上，他分析了前人工作的成功方面和失败方面，结合自己的实验提出了与众不同的几何拓扑理论，认为视觉信号处理与判别经过从低层次到高层次四个层次，即拓扑、投影几何、仿射几何及欧几里得几何等四个层次。这就把视觉机理从局部图像元素的分析解放出来，进入整体性的研究，使视觉的科学从错误的道路上纠正到可能取得突破的正确道路上来。再进一步发展下去，还有可能建立起科学的形象思维学。

我国非常需要像陈霖同志这样的有独创性的、开拓性的科学人才；因此要给他以正确的评价，我建议提升陈霖同志为教授。

鉴定人姓名　钱学森　（签字盖章）

工作单位　国防科工委科技委　　专业（技术）职称　中国科学院学部委员

1984 年 9 月 17 日

选自《钱学森书信》第 2 卷第 11～14 页，
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1984 年 12 月 4 日致李泽厚

李泽厚[①]同志：

11 月 27 日来信及王浩先生文章收读。

您说王先生文章“也可一阅”，这是因为他有文化，读书多。您又说王先生“并无重要意见”，这是因为他没有马克思主义哲学，看问题不能洞察其本质。

其实他所谓 formal 即抽象思维，所谓 intuitive 即形象思维。两者都来源实践，即他所谓 fact，而不能说 intuitive 来自什么其他！

我现在想：为了扎扎实实搞思维科学，宜从理论与实际两个方面攻智能机，第一代智能机、第二代智能机、第三代智能机……地干下去。不然，空谈何益！

您意如何？《批判哲学的批判》早收到，十分感谢！王先生文章奉还。

此致

敬礼！

钱学森

1984 年 12 月 4 日

选自《钱学森书信》第 2 卷第 100 页，
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

① 李泽厚（1930～），湖南长沙人，1954 毕业于北京大学哲学系，中国社会科学院哲学研究所研究员、巴黎国际哲学院院士、美国科罗拉多学院荣誉人文学博士，德国图宾根大学、美国密西根大学、威斯康星大学等多所大学客座教授。从事中国近代思想史和哲学、美学研究，90 年代后客居美国。著作有《康有为谭嗣同思想研究》、《美学论集》等十多部。

1985 年 1 月 25 日致李泽厚

李泽厚同志：

昨天收到《中国社会科学》1985 年 1 期，得拜读尊著《漫述庄禅》，深受启迪，非常高兴！

看来西方国家继承希腊一派传统，只强调抽象思维，说什么思维就只有抽象思维，语言是思维的基础。而我国却有另一派，“庄禅派”，强调又一个极端，只有形象思维，甚至排斥语言文字。为了批评前者，举出后者，作为我国先哲对人类文明的贡献是大有必要的。您立了功！

我们现在搞思维科学要综合两者。

我现在正为上海人民出版社搞《思维科学文集》，拟将《漫述庄禅》收入。请您默许。您如不同意，再告我。

此致

敬礼！

钱学森

1985 年 1 月 25 日

选自《钱学森书信》第 2 卷第 149 页，
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1985 年 2 月 4 日致杨春鼎

杨春鼎同志：

1 月 30 日信收到。您引用我讲过的两段话以意会法答阎庆生同志，也是形象（直感）思维学的应用了；一笑！

我总想把形象（直感）思维提高到令人尊敬的地位。我以前向您介绍《百科知识》1983 年 12 期刘晓波同志的《我国古典美学的表述方法》，您回信似以为不怎么样！您也推崇以逻辑法，或抽象思维法论文。我想这也许是一种偏见：从古希腊一派沿袭下来的“抽象思维才是思维论”的偏见。我认为那位曹利风同志也是中了这个毒的。形象（直感）思维要和抽象（逻辑）思维平起平坐，在美学中也可以用形象（直感）思维法。

说心里话，我对你们中文老师也有点意见：就是你们把文学作品左分析、右分析，头头是道，好像非常“科学”；但学生还是写不出好文章！你们为什么不想想别的办法？也许我国古典美学的表达方法有其独到之处？

我是和古希腊的那一派唱对台戏的。现在好了，李泽厚同志在今年第一期《中国社会科学》有篇《漫述庄禅》，讲了中国的老古董，说“禅”非常重要。“悟”即形象（直感）思维嘛！这出对台戏唱得好，我去信向李泽厚同志表示祝贺，说他立了功！

这些话，您以为如何？

此致

敬礼！

钱学森

1985 年 2 月 4 日

选自《钱学森书信》第 2 卷第 160～161 页，
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1985 年 5 月 4 日致王南

王南同志：

4 月 25 日来信及大作稿《多元思维论》都收到，谢谢。

您对我讲的那些话，我万万不敢当。我也不完全学爱因斯坦；如我认为马克思列宁主义、马克思主义哲学是真理，而爱因斯坦则不然。总之，说某某是爱因斯坦也不解决问题，历史自有公论。

我以为思维学只研究思维过程的规律，并不涉及对象，或您说的“思维材料”。在这个意义上，思维都是抽象的，抽象（逻辑）思维和形象（直感）思维以及灵感（顿悟）思维之称也是利用约定俗成的一种“形象”说法，不必死抠字眼：学术中有哪个名词经得住死抠字眼？抠字眼是不可取的；这也是形象思维！

我现在想：形象思维就是多元的推理，也可以称之为多元思维。您讲的多元思维涉及面极广，自古以来，论述极多，但也解决不了问题，还是什么“通才”呀，什么“学贯古今”呀，……今天还这样讲下去，意义似不大。所以我说突破口在于形象思维学。

以上当否？请教。

此致

敬礼！

钱学森

1985 年 5 月 4 日

选自《钱学森书信》第 2 卷第 268～269 页，
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1986 年 11 月 28 日致杨春鼎

杨春鼎同志：

11 月 6 日信收读，好久不通信了。

建立思维科学的突破口是形象（直感）思维学的创立，而我以为创立形象（直感）思维学又必须同人工智能和智能机的研究制造结合起来。这是科学研究的战略，也自然同经济建设有关；现在搞人工智能和智能机是国家“高技术”，可以得到支持。

这样您和您的同道，看来难以成为主力，只能当配角了。

其实您在写的《文艺思维学》是讲从人的思维过程角度看文艺理论。所以是一本文艺理论的书。文艺理论要大发展；没有文艺理论作指导去搞文艺创造，不就如同工程师不用牛顿力学，不用物理学去搞工程技术一样吗？非乱套不可！

我在这方面的看法见《文艺研究》双月刊 1985 年 1 期、1986 年 1 期、1986 年 4 期，明年 1 期还有一篇。您读过吗？您有什么意见？

我认为文艺理论是科学技术的一大部门，上面通到马克思主义哲学的桥梁是美学。

学期终结快来临了，您又该大忙了吧？

此致

敬礼！

钱学森

1986 年 11 月 28 日

注文：《文艺研究》1985 年第 1 期刊载《钱学森同志与本刊编辑部座谈科学、思维与文艺问题》；《文艺研究》1986 年第 1 期刊载钱学森文《关于马克思主义哲学与文艺美学方法论的几个问题》；《文艺研究》1986 年第 4 期刊载钱学森文《美学、社会主义文艺学和社会主义文化建设》；《文艺研究》1987 年第 1 期刊载钱学森文《社会主义精神文明建设与文艺工作》。

选自《钱学森书信》第 3 卷第 326～327 页，
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1986 年 12 月 10 日致戴汝为

戴汝为同志：

您托人交给的材料及信件昨日下午都收到了。这些人机接口的调查很有用，我已交聂力副主任（她主管智能机的研究），供她参考。

昨天下午听中国科学院系统科学所田丰同志讲图论，他说图论所用研究方法

很分散，每一小类问题都各有千秋，统不起来，以致学者可以钻入一小类问题，不读门外书。我想这可能就是图论必须用形象思维，每一小类问题都是根据一点点形象直感的认识出发，加上后面抽象（逻辑）思维，大作文章，成为一小类图论的理论。但原来那一点点形象直感很局限，一小类也就限制死了，出不了格！因此，问题在于不知道形象（直感）思维的规律。那反过来，研究如何打通图论各类问题的理论可否成为研究形象（直感）思维的一条途径？请示！

我又想：我把人的主观能力分成三大块：科学技术体系，在这个体系外围的我称之为知识的东西（局部的经验总结，非马克思主义哲学为指导的学问），和文学艺术。一旦思维科学有了突破，我们就使这三大块的结构大为改观，那将是人类文明的飞跃！

所以思维科学重要！您以为如何？

此致

敬礼！

钱学森

1986 年 12 月 10 日

选自《钱学森书信》第 3 卷第 336～337 页，

国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1987 年 6 月 25 日致杨春鼎

杨春鼎副教授：

读了您 6 月 19 日信，知道您是副教授了，我很高兴能这样称呼您，是知识分子一生中的一个台阶呀！

关于社会主义精神文明建设，我认为中国共产党十二大的报告是个指导性文件，它讲清了社会主义精神文明建设的内容。您应该把这个报告的有关部分仔细学习并思考一番，切莫随便想。

从来信看（我不知道您回戴汝为同志五页信讲了些什么），您似不那么重视文艺语言和形象（直感）思维的关系。其实不只是文艺语言，也还有许多老百姓的“俚语”，以至中国禅释的语言，都含有大量与形象（直感）思维有关的材料。我认为当然语言最先来源于思维，是先有思维后有语言，但语言发展了，也帮助思维进一步发展。语言和思维是有这个辩证关系的。

我们可以举抽象（逻辑）思维的例子。外国讲语言学，特别是 50 年代美国 Chomsky 开始是所谓科学的语言学，发展到什么语言结构学、语义学……，重点都是讲有关抽象（逻辑）思维的语言的。这种研究最终达到符号式的数理逻辑，最抽象的了，抽象（逻辑）思维也就达到了最严谨的规范。

要研究形象（直感）思维，不能走这条路。老实讲：你们这些中文科教师，如果用语句结构、语义分析这套教学法，我看教不出有艺术思维的好学生！

为了研究形象（直感）思维，我想我们要走另一条路，创立另外一门语言学，叫“文艺语言学”？我现在认为研究文艺语言学，把文艺语言、俚语、禅释语言的规律找出来，那也是研究形象（直感）思维的一个门路。您可以在此做出贡献！

这两页纸上写的话，请您深思，不要当耳旁风！

此致

敬礼

钱学森

1987年6月25日

注文：Chomsky：Noam Chomsky，诺姆·乔姆斯基（1928～），美国语言学家和语言哲学家，创立了转换生成语法理论。

选自《钱学森书信》第3卷第495～497页，国防工业出版社，2007年5月第1版。

1991年3月13日致潘云鹤

潘云鹤教授：

2月28日来信及尊作《形象思维中的形象信息模型的研究》都收到。读后深受启发，十分感谢！

大作对形象思维的重要性及抽象思维之不足有深入的分析，是对1984年8月会议的认识一次重大发展。我们对思维学的研究方向更加明确了。

其实过去计算机科学与工程以及人工智能的工作都未能解决形象思维的本质问题。这些工作都用计算机，而一直到现在的计算机都以抽象思维的一阶逻辑为基础的。所以它们都先把形象（心象）M_1 变为抽象 A_1，然后加以处理，发挥计算机之所长，最后再把抽象结果 A_2 变为形象（心象）A_2。动画电影片的制作是如此，现在更开拓为各种计算机画图（见 *Scientific American* 杂志1991年2月号88页文）也如此。戴汝为同志他们搞的计算机识别手书汉字也如此。您1982年的工作想也是如此。

这本来也是自然的，因为要用计算机，而计算机只会“计算”，可以说笨透了，一点聪明都没有！我们的任务是找突破口！您指出了突破口，这了不起！下面就是攻关任务了。

怎样攻关？有什么作战方案？我认为您注意到心理学方面的研究成果，这是

很必要的，思维学要靠建立在心理学上的精神学（mentalics）嘛。但还要深入；有两方面，我提请您注意：

一，形象与拓扑学有关，陈霖同志的工作应该重视。

二，直觉主义元数学涉及概念到判断的问题，要研究直觉数学、Martin-Löf的类型理论，以扩展单线思考的局限性。见《自然杂志》1991 年 2 期章远阳文。

这两点我在自己的工作中都有些体会，创新来源于跳出老思路、老框框，而启发来自初看是无关的方面，大跨度跳跃！

鉴于上述问题的重要性，“863”课题的智能计算机组何不开个讨论会？请酌。

此致

敬礼！

钱学森

1991 年 3 月 13 日

选自《钱学森书信》第 5 卷第 492～494 页，

国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1991 年 7 月 13 日致李德华

李德华同志：

您在党成立 70 周年纪念日写的信，《华中理工大学周报第 575 期》及珍贵照片三张都收到。我首先要向尊大人李国平教授问安，我也要向您祝贺晋升为教授，我也要对您的信、刊及照片表示感谢！我也希望长江水位骤涨不给你们带来大的困难。

信中所提形象思维问题，我请戴汝为同志回答您，他们在一个多月前曾开过一次研讨会。我只想说两点意见，供您考虑。

一，人的形象思维发展较抽象思维早；幼儿有形象思维，但可能还没有抽象思维。所以不宜把形象思维纳入抽象思维的路子；而这个毛病是容易犯的。我以为形象思维似重在整体，是感觉所接收的“形”与脑中库存的“形”搜索比较，搜索到“同形”，即以脑中对该“形”的经验，作为感觉到的“形”的判断。丰富的实践及知识是形象思维的基础，这与抽象思维很不一样。

二，研究形象思维比较难，因为老路子不成功，几十年了呀！您作为一个研究所的负责人，研究工作年年要有成果，所以不应以形象思维为全部研究内容，要搞一些短期研究，我建议考虑 virtual reality（我译为“灵境”）方面的课题；MIT 的 Media Laboratory 就在大搞。

以上请酌。

此致

敬礼!

钱学森

1991年7月13日

选自北京大学现代科学与哲学研究中心编《钱学森与现代科学技术》第445～446页，人民出版社，2001年12月第1版。

1991年11月21日致戴汝为

戴汝为同志:

辩证思维的文章有进展吗?

人脑是怎样认识形象的? 这个谜一直未解开。我们能说出道理的，能用语言表达的都未涉及这个谜。一到这个谜，就“只能意会，不可言传”了。

但认识形象的基础是人的实践。实践经验沉积于人脑，以后就用来认识新的形象。认识的过程即“悟”。这个过程——形象思维，完成了，一切就好办了。有您的计算机识别手写汉字；有几何学；有中医学（阴阳、五行、十二干支与人体的形象一定，余下的是逻辑推理）。我国古代思维都是这一套，如君、臣、父、子……都对天象。到今天科学创造也用此法，只是创想之后还得逻辑推理验证。

以上如何，请考虑。

此致

敬礼!

钱学森

1991年11月21日

选自《钱学森书信》第6卷第164页，国防工业出版社，2007年5月第1版。

1992年1月7日致戴汝为

戴汝为同志:

我首先要祝贺您当选为中国科学院技术科学部学部委员! 这是对您学术成就的正确评价。

近日又重读潘云鹤的论文，感到他对形象思维与抽象思维的区别，以及人的思维是形象思维和抽象思维的综合，道出了前人未见的观点，是一贡献。但潘教授对形象思维到底是怎么个过程，所谓形象（心象）的“归纳”成“概念”是什

么，未加说明。这是不足！这是核心问题。

我想：这一形象思维过程实是与人的实践经验有关的，还是毛泽东的《实践论》。人的实践经验沉积于人的大脑，把某一形象（心象）与其将产生的结果作为规律，一旦人在以后某时某刻又得此形象（心象），则“归纳”为规律所决定的结果，即“概念”。我自己反思，我的形象思维就是这么回事！所以形象思维即直感思维。

灵感（顿悟）思维也是这么回事，只不过从形象（心象）到“概念”的搜索对比过程非常曲折，而且还可能要插入些逻辑推理。还是老话，思维学的突破口在于形象（直感）思维。

现在我们前进了一步，对形象（直感）思维过程有了点认识。这有没有道理？请教。

专家系统的基础看来也是形象（心象）的“归纳”，是实践经验为基础的。千万个专家系统的综合即人工形象（直感）智能了。这有没有道理？请教。

最后把抽象（逻辑）思维和形象（直感）思维综合成一体，即辩证思维了。

此致

敬礼！

钱学森

1992 年 1 月 7 日

选自《钱学森书信》第 6 卷第 213～214 页，

国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1992 年 9 月 21 日致李德华

李德华教授：

9 月 24 日信及三篇稿子都收到，十分感谢！近月来戴汝为同志对人机结合的智能系统在认识上有很大发展，您一定从他那里听到了。形势大好，对我有利！

有以下几点意见，写下来供您考虑：

一，您讲了思维巨系统，很好。但您对从定性到定量综合集成法说得很少，而这是现在唯一可用以研究开放的复杂巨系统的方法。

二，《记忆与思维》是把形象（直感）思维的要害点出来了，但未深入。您似乎受国外图像识别与人工智能专家的影响过深，跳不出来！您要注意脑科学及心理学方面的议论，如 *Scientific American* 1992 年 9 月号“Mind and Brain”专辑就有不少有用的东西。

三，下面讲讲您在“863”计划“306”主题责任专家候选人评审会上的报

告。第一是您对要用马克思主义哲学指导科学研究讲得太少了；外国人的错误就在于机械唯物论或唯心主义，不会运用辩证唯物主义的认识论！尊大人、胡世华先生和我又是此观点的积极宣传者。

四，我觉得形象（直感）思维的关键在于人的实践经验沉积于人的脑中，是“事物形象→后果”的关系。简单的是婴儿认识母亲，认识了母亲就有奶吃。复杂的事物也无非如此，抓住形象知道后果。当然问题有时比较难，有一个以上大脑中的沉积形象与现实相似，选哪一个？但最后总可以找到，后果就出来了。这里的推理是事物形象一步到结果，难处在于在大脑库中找出恰当的形象。是一个搜索过程。

五，我现在想灵感（顿悟）思维也是如此，只不过大脑要进入一种激发态，打掉常时障碍，一下子找到所要的形象。

我自己反省，我 40 岁以前大脑中框框可能多些，有时要在梦中突然找到所要的形象，这就是灵感了。但后来我思想可能解放了，懂得点马克思主义哲学，反而不出现灵感（顿悟）思维了。

以上五点恭参考。不当之处请批评指教！

此致

敬礼！并请向李国平教授代我问安！

钱学森

1992 年 9 月 27 日

注文：此信复制件送戴汝为同志。

选自《钱学森书信》第 6 卷第 461～462 页，
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1993 年 2 月 4 日致戴汝为

戴汝为同志：

近日来一直在读 Arnheim 的书，真是译者说的，“读完此书的读者都会感到，我们似乎走进了一座新奇的知识宝库”。Arnheim 的思想方法避免了机械唯物论，有综合辩证的特点，比“认识科学”高明多了。

他的书叫 *Visual Thinking*，实是视觉过程中的思维，所以是讲形象知觉中思维的作用。这就为形象（直感）思维的研究引了路，因为形象（直感）思维是思维过程中的“视觉”，即存储于大脑的视觉形象。您以为如何？我看您和我都要一点点啃 Arnheim 的书！我们要重视 Gestalt 心理学。

高兴呵！找出了路子了！

附钱学敏同志来信复制件，供参阅。

此致

敬礼！

钱学森

1993年2月4日

注文：Gestalt心理学：是现代欧美心理学主要流派之一，有音译为“格式塔心理学”或意译为“完形心理学”的。

选自《钱学森书信》第7卷第109页，
国防工业出版社，2007年5月第1版。

1993年2月14日致戴汝为

戴汝为同志：

2月8日来信敬悉。

我想Arnheim的优点在于他是Gestalt心理学派。记得我去年曾寄一复制的*Scientific American*文，也是讲Gestalt观点之长处。现在看来Gestalt心理学的长处在于有辩证法，能从整体上看问题。而在这方面行为主义学派最糟，完全是机械唯物论。只要我们抓住辩证唯物主义，我们就能胜过洋人中之大多数！

现在读了Arnheim的书，我想形象（直感）思维实是：对要处理的问题有了一个感性认识，但仍是一堆乱麻，理不出头绪。这时如在大脑中已积存的事物形象去搜索对证，一旦“对上号”了，就恍然大悟。此即形象（直感）思维之真谛。因此，汪成为搞的OO软件工程在此可以用上，把感性认识同库存的形象去对，去找。这是不是就是形象（直感）思维的人工智能？形象（直感）思维也能上计算机了！

这有没有道理？请教。

Arnheim现在都将90了，不是他还在世吗？但只是这本*Visual Thinking*，他已立下丰碑！

此致

敬礼！

钱学森

1993年2月14日

书的译者滕守尧何许人也？您知道吗？

选自《钱学森书信》第7卷第114～115页，
国防工业出版社，2007年5月第1版。

1993年8月2日致汪成为

汪成为同志：

近日来想到一个问题：即形象思维（即直感思维）能不能用现代技术来帮助人？所谓形象思维实是把意识到的一张图像与大脑中库存的图像对比；对上了，就把大脑库存图像所联系的知识立即用于意识到的图像所代表的系统。这里难就难在“认知”即对上号。要电子计算机作“认知”工作，还难，现在似尚无捷径。那能不能搞人机结合呢？即：

人脑做认知工作；

计算机信息系统作图象存贮和提取；

人机结合作搜索。

一旦人脑认知某一信息系统的图像，计算机信息系统就提供此图像的知识，供人使用。这一方案如实现了，也将是形象（直感）思维的一件大事。

这有道理吗？请指教。

此致

敬礼！

钱学森

1993年8月2日

选自《钱学森书信》第7卷第297页，

国防工业出版社，2007年5月第1版。

1993年8月8日致戴汝为

戴汝为同志：

近日来我还在想形象思维的事。由于让机器认知复杂的图像还非近日能解决的难题，我就想：能不能也人机结合？叫计算机信息网络存贮图像及关于每一图像的知识，然后在人的操作下，搜检库存，人定舍取，机器帮助。一旦人认知了，找到了，问题也就解决了，背景知识也定下来了。这是否是形象思维的人机结合系统法？我已告汪成为同志，请他考虑并构筑系统软件。您也请考虑一下，提些建议。

再一件事是将来在第五次产业革命中的人，如何才能做信息的主人而不要成为奴隶。如何使用信息？看来有三个层次：第一是剪报式的，即在信息库中找所要的东西。这现在已办到了。第二是“信息激活”式的，或说情报专家式的；对

此我从前就举过几个例子。近日又见另外一个，也很有意思，现照录如下：在从前“日本人探听中国的大庆，没派一个特务，没收买一个中国人，主要是研究《人民日报》，研究中国的画报。日本有很多‘样本博士’，当他们看到画报封面王铁人同志的照片，身穿棉袄，下着鹅毛大雪时，就说这个大庆不近啊，起码在东三省靠边，否则不会下这么大的雪，但在哪儿不知道。《人民日报》曾经有一个报道说：‘王进喜同志进了马家窑，说了声好大的油田啊，我们要把中国石油落后的帽子扔到太平洋里去。’日本人说找到了，马家窑就是大庆的中心。而《人民中国》报道说中国工人阶级发扬了一不怕苦，二不怕死的精神，大庆设备不用马拉车推，完全是肩扛人抬。日本人说远不了，远了就扛不动，结果就找到离马家窑不远的车站。1966 年王进喜同志光荣参加了全国人民代表大会，日本人说出油了，假如不出油王进喜当不了‘国会议员’。再根据照片钻台上手柄的架式他们可以算出你的油井的直径是多少，再根据直径和国务院的政府工作报告来套算，把全国石油量减去原来的石油量，减下来就是大庆的。”

这种激活情报的功夫在未来世界中非常重要，怎样培养这种功夫？是否有专门的课程？要研究。

最后，再上一个层次，那就是能站在高处，远眺信息大洋，能观察到洋流状况，察觉大势，作出预见。这就需要智慧了，需要“大成智慧”了。这种人才又该如何培养？设什么样的课程？这也要研究。

我想这些都是思维科学的问题，我们要思考呵，有责任呀！21 世纪和第五次产业革命就要来了呀！

近日读了一篇夏军同志的讲非理性研究的文章，我给他写了封信，内容是我们一直在讨论的问题，故奉上此信复制件，请阅。

此致

敬礼！

钱学森

1993 年 8 月 8 日

选自《钱学森书信》第 7 卷第 311～313 页，

国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1993 年 9 月 27 日致戴汝为

戴汝为同志：

您 9 月 15 日、23 日的两封信都收到。

总的来说是人如何认识客观世界（包括人自己）的问题。爱因斯坦早就说过不能只靠抽象（逻辑）思维，还必须用形象（直感）思维。毛泽东同志的感性认

识到理性认识也是这个意思。美国 Santa Fe 学派就说得更多些。我们解决了二者如何更好地结合的具体办法，用系统学、用电子计算机。现在的问题是：

什么是形象（直感）思维？要建立形象（直感）思维学，目的是叫电子计算机更好地帮助人进行形象（直感）思维，以解放人，去更有效地面向湧来的第五次产业革命信息大潮。

这就是思维科学的任务，说来说去，就这么几句话。

此致

敬礼！

钱学森

1993 年 9 月 27 日

选自《钱学森书信》第 7 卷第 371 页，

国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1994 年 9 月 18 日致戴汝为和钱学敏

戴汝为同志、钱学敏[①]同志：

我近日在想：既然文学创作中要运用抽象（逻辑）思维、形象（直感）思维和灵感（顿悟）思维，那我国几千年古老的文学作品不就是三种思维的结晶吗？那我们为什么不从中国的赋、诗、词、曲及杂文小品中学习探讨思维学呢？它们是最丰富的源泉呀。

最容易的是对联，这在旧中国是文人思维的基本功。它也最容易分析入手。例如，最熟知的有：

五月黄梅天

三星白兰地

这最简单，只是字与字对。复杂一点是毛泽东与周恩来的对联：

橘子洲，洲旁舟，舟行洲不行（毛泽东）

天心阁，阁中鸽，鸽飞阁不飞（周恩来）

这就不只是字与字对，而且有巧妙的涵义。

更深一点是清代名儒纪晓岚被一江船上武夫难倒的故事。这武夫乘的船有帆，纪晓岚的船无帆用橹。武夫出联为“两舟并行，橹速不如帆快”。这里利用

① 钱学敏（1933～），女，浙江杭州人，1961 年毕业于中国人民大学哲学系，中国人民大学教授，西安交通大学兼职教授；专著有《钱学森科学思想研究》，参撰著作有《马克思主义哲学史》等六部，参译著作有《马克思主义哲学史》（德文版）等三部，论文 70 余篇；曾获国家哲学社会科学基金项目优秀成果一等奖等七项。

“橹速”与“鲁肃”谐音，“帆快”与“樊哙”谐音，说文不如武。纪晓岚一时无对，被困数日，闷闷不乐。直到数日后抵福州主持院试大典，听到乐声，才顿悟到，下联应是：

八音齐奏，笛清怎比箫和

这里“笛清”与“狄青”谐音，“箫和”与“萧何”谐音，说武不如文。这对联就不止于形式，字与字对，而且通过谐音运用典故，达到对阵。

这种文例极为丰富，长联发展到昆明大观楼长联，每联 90 字。更有邓小平旧居长联，每联 250 字！真洋洋大观，是一宝库，也是我国文人的心血。

从思维学角度看，对联的过程是：出联的上联是给出一个结构，请应联的下联人按此给定的结构去找零件，字、词填入这个结构，思维就在于搜索思想库找材料。这就是对联答对联的思维学——搜索入结构。

我自己体会，所谓形象（直感）思维则是与上述答对联相反的：有材料，但无结构。思维的任务是找形象，即结构。相反，不也相成吗？我们总结中国极为丰富的对联文学，不能为研究形象（直感）思维做贡献吗？知道形象（直感）思维是从零碎材料找结构不就是一个开端吗？从思维学的角度研究中国古代文学是值得的。

以上当否？请指教。

此致

敬礼！

钱学森

1994 年 9 月 18 日

选自钱学森：《科学的艺术与艺术的科学》第 135～137 页，
人民文学出版社，1994 年 12 月第 1 版。

1995 年 1 月 25 日致李世辉

李世辉①同志：

您元月 23 日信收读。您强调在对系统的全局认识中运用典型的重要性，对此我同意。在没有现代科学分析方法的古代，这是人们能运用的唯一方法。这里有个突出的例子，即中医理论。但在今天，我们要运用现代科学技术，特别是系

① 李世辉（1932～），男，总参工程兵第四设计研究院高级工程师，兼中国科学院工程地质力学开放研究实验室客座研究员；参加过抗美援朝，1964 年毕业于哈尔滨军事工程学院；荣获国家科技进步二等奖一次，军队科技进步一等奖两次，享受政府特殊津贴；发表论文数十篇，其中 SCI 收录的国际期刊三篇，专著两部。

统学，看到这个古老方法的局限性。有以下几点，请酌：

一，用典型那就要求研究对象是相对稳定、无大变化的，如人体，如隧道地学环境，这都是上千年、几千年无大变化。只有这样，才说得上典型，典型才有意义。如果研究对象是在变化发展中，尤其对开放的复杂巨系统而言，典型也就难以肯定，我们没有经验呀。我们只能看大系统、巨系统的某一侧面，也许能找到典型，即过去类似的经验，看出对象的可能变化；但这只是局部的，能作为点滴参考，不能肯定就是如此。

二，中医理论就是典型法，从病人各种典型概括出阴阳五行的理论。但就是对人体这一千百年事例中得出的中医理论也不能作为死教条，按病人实际情况还应作适当调整。中国有名的中医都根据自己行医经验对医方作些适当变动，这才是名医，不是庸医。您在处理隧道工程中一定也是如此。

三，对正在变化中的开放的复杂巨系统，如我国的社会经济，“典型”就更难了，史无前例嘛。在分析研究我国目前的社会经济，只能“摸着石头过河”！所谓“典型”是专家意见，一得之见，不可能全面。所以必须把这种宏观的专家意见，多方面的经验规律，用一个庞大的系统模型综合起来，再通过验算，看看结果，请专家们发表意见；如有看法，再修改系统模型。经多次修改试算，专家们都同意了，才算有了结果，最好的对复杂巨系统的认识。这就是从定性到定量综合集成法，也就是综合研讨厅体系的工作。

四，总之，对开放的复杂巨系统而言，“典型”有重要意义，应该重视，是专家意见；但又不能死抱着不放，那就一定会犯错误！50 年代末的农村典型调查及由此制订的农业体制，不就是教训吗？

因此对开放的复杂巨系统，我们应正确认识典型这一宏观思维方法，知道它的作用和局限。

此致

敬礼！

钱学森

1995 年 1 月 25 日

选自《钱学森书信》第 9 卷第 41～43 页，

国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1996 年 6 月 30 日致戴汝为

戴汝为同志：

我非常高兴地读了您 6 月 23 日来信，也仔细地思考一番。我想这是您和您的工作同志在深化形象思维的研究，是件思维科学中的大事！

我们在前一段时间里只建立了逻辑思维、形象思维、创造思维这一思维科学结构，这还是比较容易的；现在要攻形象思维这一关了。一个文盲的思维方法也是形象思维，只是限于比较简单的似与不似；但我们要注意，思维的跨度还是很大的，即邹伟俊所谓泛化。

我们要深化就必须从过去的经验和经验总结中探找。我前次提出读一读那本 *Knowledge Discovery and Data Minimg* 也是这个意思。H. Simon 先生提示的 laws of qualitative structure 六条定律，成中英先生的三条原理，Whitehead 先生的 symbolic reference 都很好。我想这些研究加“泛化”的思维最终将会解除佛教禅宗的“顿悟”的神秘感，形成形象思维学的深化（关于“顿悟”可参考《关于思维科学》这本十年前出版的书 302 页李泽厚文）。

这是我读您 6 月 23 日信后想到的，供参考。

我向詹瑞令同志问安！

此致

敬礼！

钱学森

1996 年 6 月 30 日

注文：① Whitehead：Alfred N. Whitehead，阿尔弗雷德 · N. 怀特海（1861～1947），英国数学家、逻辑学家和哲学家。

② 《关于思维科学》一书由钱学森主编，上海人民出版社 1986 年 7 月出版。

选自《钱学森书信》第 10 卷第 109～110 页，国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1997 年 7 月 12 日致戴汝为

戴汝为同志：

您 7 月 9 日信及《对联理解与生成系统——计算机诗词初探》收读。我认为这是一个很好的研究方向，它也会对思维科学有贡献。但比起人脑——一个有修养的文学诗词作家的头脑，这工作只是个开端，要深化，搜索的范围应扩大。现在的工作只相当于一个初等对联学生的成绩。

扩大搜索范围是形象思维的道路。

此意请酌。

此致

敬礼！

钱学森
1997 年 7 月 12 日
选自戴汝为著:《社会智能科学》第 249 页,
上海交通大学出版社 2007 年 1 月第 1 版。

1999 年 8 月 1 日致戴汝为

戴汝为同志:

您 7 月 23 日信及费越同志的博士论文《汉语语义的多层次集成研究及春联艺术系统》都收到,我十分感谢!我读后也有几点看法,谨写下,向您求教:

一,论文题目用的是“春联”而不是更广泛的“对联”,为什么?在旧中国,居室接客的厅堂,堂中上方一般挂山水画一幅,两边就挂一副对联。而春联只是为了迎接春节的对联。

二,几年前我向您提出要研究“对联”,因为它与形象思维有关:对联的上联给出结构,要下联补上内涵。最有名的对联是:“三星白兰地,五月黄梅天”。而形象思维的题目常常是手头有一堆事实,但不知其结构,其形象,任务是发现其结构;也就是悟出其道理。所以“对联思维”与“形象思维”(特别是“创造思维”)是有其相互促进作用的。这是我前几年提议研究“对联思维”的思路。

以上请指教。

此致

敬礼!

钱学森
1999 年 8 月 1 日
选自戴汝为著:《社会智能科学》第 253～254 页,
上海交通大学出版社 2007 年 1 月第 1 版。

9.4 创造性思维——灵感问题的讨论

1982 年 4 月 14 日致刘奎林

刘奎林同志:

4 月 8 日信和文稿都收到,文稿我代作主张已寄送《中国社会科学》编辑部,请他们考虑刊登,他们会同您联系(文字上宜修整)。

您信中说逻辑学，形象思维学和灵感学如何综合成思维学？回答可以分两个层次：一般概括地讲，综合的线索是认识论，或说是现代化了的认识论（见《哲学研究》1982 年 3 期拙作）。具体地讲，就难了，因为现在三者仅有其一，逻辑学，形象思维学和灵感学还未建立，不成其为“学”。（您的文章也不是灵感学）。因此我认为现在讨论综合三者成为思维学，似尚非其时，可以等一等。

对您的文章，总的看是好的，指出灵感并发要靠“显意识”到“潜意识”的交流，而主导还是“显意识”，即自我意识。这是对的，也说明为什么前人会把灵感神秘化了。我因此认为要研究灵感思维必须对心理学以及脑神经生理学下点工夫，还是要唯物论嘛。但这里读一读 R. Sperry（1981 年诺贝尔奖金获得者）的近年论述会有好处，他认为大脑活动有不同层次，最高层次是思维，思维和意识可以反回来影响低层活动，以至人体生理。去年第 4 期《自然科学哲学问题》有一篇摘译文，建议您读一下。

我以前也和您一样，把从神经元活动上升到意识的过程看简单了；现在看，中间还可能有不止两三个层次呢！

以上供参考。

此致

敬礼！

钱学森

1982 年 4 月 14 日

注文：《哲学研究》1982 年第 3 期刊载钱学森文《现代科学的结构——再谈科学技术体系学》。

选自《钱学森书信》第 1 卷第 175～176 页，

国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1982 年 5 月 24 日致刘奎林

刘奎林同志：

5 月 20 日来信收到。

我对您的两个新想法不敢赞同。

一，灵感思维不能因其使用领域之不同来分类，这就如数学，不能因其使用领域之不同而分为物理数学、化学数学、天文数学、工程数学……。要分也只能以其本质内容之不同来分，如数学之有数论、拓扑……。现在我们对灵感的本质内容还不十分清楚，怎么分呢？您提的五类，我看是“想当然”而已，站不住脚。

二，方法不能解决本质上的问题，方法工具只在本质问题基础上明确后，才有促进作用。模糊数学不过是个工具，不要对它寄托过分的希望。

我强调抓本质，这是我的经验，也就是不能捨本求末！灵感思维之本是什么？您文稿中提出意识到下意识的贯通，我认为这是个要害！对这一点我欣赏，所以把文稿送《中国社会科学》。所以我认为您应该顺这条路走下去，研究大脑的高阶活动，即存在着多个“自我”，而灵感思维要靠多个自我的综合。（见 *New Scientist* 1981.10.8 期，P.113）这才是正路。切莫舍本求末！

此致

敬礼！

钱学森

1982 年 5 月 24 日

意识＝自我一

下意识＝自我 x

选自《钱学森书信》第 1 卷第 187～188 页，
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1982 年 7 月 1 日致刘奎林

刘奎林同志：

您在 6 月 20 日一天之内给我写的两封信都收到了。那些过誉之词看了难受，请今后免去。我们还是平等相待吧。

请您读陶伯华的文章也是想请您练习脑子。我自己的经验是：讨论、分析别人的意见，好处甚多，也是锻炼自己。我给您写信，我因而也受益。

您的分析很好，我已抄给他，并退文稿。我给他的信中说明是抄自您给我的信，供他参考。

我现在想：三种思维，抽象思维人人有实践体会，好懂。形象思维之初级阶段，如认字、识图，也是人人有实践经验，也好懂。形象思维的高级阶段则非人人经过，体会不多，认识就浅，讨论起来，分歧就多。至于灵感思维，知之者颇少，所以讨论起来，不知所云的所在皆是！也就出现大幅度振动；江西省文学艺术研究所有个刘欣大同志，全盘否定灵感思维，说它是“思维莽原上的昙花”。而这位陶伯华同志却把顿悟捧到与思维并列的位置。都不科学，是“自然哲学”之类的东西！

我想潜意识确实有，意识与潜意识。“下意识”不过是同一外文字的又一译词。我不知道什么“无意识”。S. Freud 的无意识可能即我们说的潜意识。我看 S. Freud 当时讲的，也有点“自然哲学”味道，他没有今天的科学仪器如脑电图、脑磁图等。Piaget 不信马克思主义哲学，是不是也有点“自然哲学”味道？请注意。

马克思主义哲学认为人的意识发展有生物遗传的因素，但这不过说有可能形成意识，（Scheme?）。而意识的具体形成是人社会实践的结果，而且不断发展变化，到死才停止。这就是辩证唯物主义的认识论，即思维科学的哲学桥梁。

您的《改革哲学体系的一项重要原则》强调科学技术的作用，这是对的。但您未提文学艺术也有作用，似是欠缺。（见附文）但老牌哲学家对我们这些说法定难接受，他们认为只有在100年前的原地不动，才是正理！文稿奉还。

此致

敬礼！

钱学森

1982年7月1日

注文：

① S. Freud：Sigmund Freud，西格蒙德·弗洛伊德（1856～1939），奥地利医生兼心理学家，精神分析学派的创始人。

J. Piaget：Jean Piaget，让·皮亚杰（1896～1980），瑞士心理学家，是认知发展领域最有影响的一位心理学家，他所创立的关于儿童认知发展的学派被称为日内瓦学派。

② 所附文章是钱学森的《研究文学艺术活动的学问——文艺学》，此文后编入钱学森著《科学的艺术与艺术的科学》一书（人民文学出版社1994年12月出版）。

选自《钱学森书信》第1卷第194～196页，
国防工业出版社，2007年5月第1版。

1983年4月8日致刘奎林

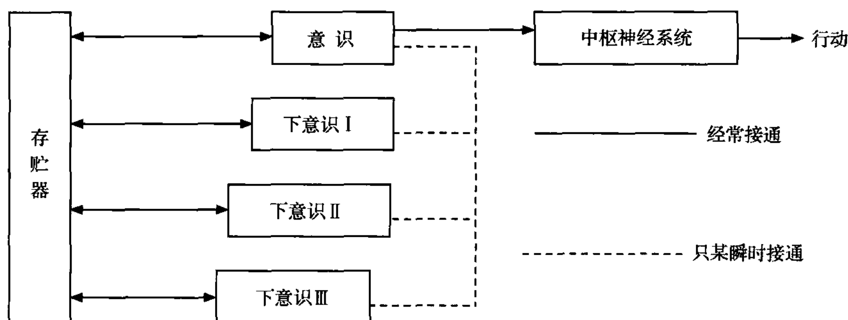
刘奎林同志：

1月8日来信一直未复，不知您身体可好？《论灵感》写得如何了？

现在有些人总想灵感（顿悟）思维合到形象（直感）思维中去，我想这些人自己没有实践，很难领会此中区别，所以又写了篇《关于思维科学》，再阐述一番，也有些发展。现附上一份，请指教。

写完这个稿子后，又想到：如果说抽象（逻辑）思维是一步一步地推理思维活动，是线型的，那么形象（直感）思维就可能是多途径并进的探讨，交叉反馈，是平面型的；这也与M. Minsky研究复音音乐创作过程的想法一致，与Sparkes的想法也吻合。由此再进一步到灵感（顿悟）思维，有下意识，多个下意识（“多个自我说”），下意识与意识一般不接通，但与“存贮器”接通，可以独立进行信息加工。到了灵感、顿悟的瞬间，一个下意识与意识接通了，就突然解决了问题。所以思维过程的体系可能有如下的结构：

这不是说灵感（顿悟）思维是三维型的吗？因此也可以称抽象（逻辑）思维为思维的第一层次，形象（直感）思维为思维的第二层次，而灵感（顿悟）思维



为思维的最高层次。您以为如何?

此致

敬礼!

钱学森

1983年4月8日

注文:《关于思维科学》一文,刊载于《自然杂志》1983年第8期,此文后又编入钱学森主编《关于思维科学》一书(上海人民出版社1986年7月出版)。

选自《钱学森书信》第1卷第228～229页,
国防工业出版社,2007年5月第1版。

1983年6月2日致刘奎林

刘奎林同志:

5月18日信及文稿收读。文章送登地方刊物,也是可以的;但如严格推敲,以下几点也可提请您考虑:

一,人的意识本来就是人脑的最高层活动,但现在看,意识又分意识(也可称显意识)和潜意识两个层次。从物质结构来说,不论显意识或潜意识的构成都是千千万万神经元组织,都是宏观的。不能说潜意识是微观的。

二,因此要区别显意识与潜意识,说清如何分别。我曾建议:显意识可以驱使肢体并直接接受人体各部位的信号,而潜意识一般是不能的。对不对?

三,弄清显意识和潜意识要利用S. Freud和以后的现代心理学成果。所以我在前信中建议多看一些Freud的书,也许这是研究灵感思维学的途径,即从"心理分析"走向灵感。

这同研究形象思维学要从模式识别和数理语言学开步一样,都是从思维科学的技术科学走向思维科学的基础科学。

四,25页上引了罗伯特·斯佩里的工作,斯佩里的名字是Roger,不是

Robert，所以罗伯特应是“罗吉”。斯佩里的“裂脑”工作是50年代的，他近作很多，您读了吗？您外文如何？

五，文章后一部分，是一项“革命性”的尝试！不大成熟吧，写不写呢？

文稿既然只三份，寄我的一份退还吧。

此致

敬礼！

钱学森

1983年6月2日

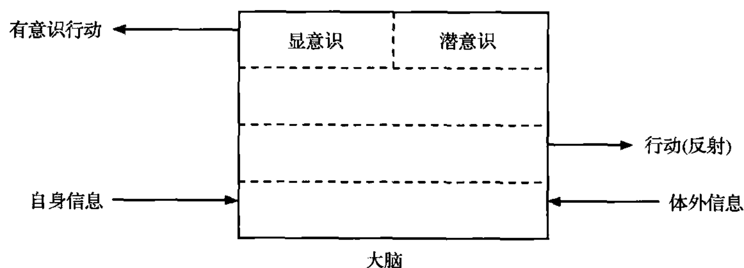
选自《钱学森书信》第1卷第235～236页，国防工业出版社，2007年5月第1版。

1983年8月19日致刘奎林

刘奎林同志：

《红旗》1983年16期38页有赵璧如同志论弗洛伊德文，务必请您仔细看看。

我看根据现代脑科学的发展，意识心理，大脑似应作下图：



来表达。你意如何？

此致

敬礼！

钱学森

1983年8月19日

选自《钱学森书信》第1卷第244页，国防工业出版社，2007年5月第1版。

1985 年 1 月 15 日致张铁声

张铁声[①]同志：

一月十日信收得后，有以下几点请您考虑：

一，我认为马克思主义哲学关于实践与认识的理论是正确的，先有实践然后才有认识。我以前就对一位分不清直感与灵感的同志说：不必着急，等您有了灵感的经验后，你就能分清了。您是否也是如此？

二，这也就是说灵感的经验并非人人都有，外国人也是如此。所以外国人中分不清的大有人在，我们不必迷信他们，包括什么教授、权威在内！您也要思想解放！

三，外国人不常用 inspiration 而常用 intuition 也是因为前者稀少而后者频繁多见。顿悟用 satori 也无不可；但不能理解为越脱经验的，那就成了唯心主义了。

四，我认为从精神学（mentalios）的观点，直感在浅层，即显意识，而灵感涉及深层，即潜意识。这是老话了，我现在还以为是正确的。

问光鉴同志好！

此致

敬礼！

钱学森

1985 年 1 月 15 日

选自《钱学森书信》第 2 卷第 139～140 页，国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1987 年 8 月 6 日致刘奎林

刘奎林教授：

7 月 28 日信及大作《灵感发生的特异规律》都收到。您一口气写了九篇论文，真了不起！这表示您是十分努力的人。

您讲了五个方面的规律：显意识与潜意识融通律、选择与建构重组律、精确

---

① 张铁声（1946～），男，辽宁凌海市人，曾任山西省社会科学院思维科学研究所研究员、第二任所长，山西省思维科学学会第二任理事长、名誉理事长，兼山西师范大学等高校教授，现任青岛滨海学院研究员、教授；主要研究思维科学，著作四部，发表论文数十篇；曾获中国图书奖等两项、山西省优秀科研成果奖多项；曾在第八、九、十届国际逻辑学、方法论和科学哲学大会上发表论文。

与模糊隶属律、无序与有序协同律、逻辑与非逻辑互补律，我理解这都是在消化吸收了系统科学（包括耗散结构理论、协同学、控制论、信息论等）和脑科学，以及认知心理学的成果，从大脑多层次巨系统的观点出发，整理而成的。五个方面可以是研究灵感（顿悟）思维和特异思维的出击阵地。很好。

但我也有以下几点看法：

一，五条“律”不都为灵感（顿悟）思维所特有的“特异规律”。除第一条的显意识与潜意识融通律以外，其他四条同样是形象（直感）思维的“律”，也可以用以指导形象（直感）思维的研究。所以您的文章意义比您原想的还大！也因此我把文稿转寄给戴汝为同志看。

二，关于 Roger W. Sperry 的工作，国内只介绍其“裂脑人”成果，其实这是他早年成就，而近年脑科学已大大前进了，内容比“裂脑人”丰富得多。这说明科学技术发展很快，等翻译是不行的，一定要自己直接读外文书刊。您的外文阅读能力如何？

以上供您参考。

此致

敬礼！

钱学森

1987 年 8 月 6 日

注文：Roger W. Sperry：Roger Wolcott Sperry，罗杰·沃尔科特·斯佩里（1913～1994），美国神经生物学家，1981 年获诺贝尔生理学奖。

选自《钱学森书信》第 4 卷第 5～6 页，
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1990 年 2 月 12 日致戴汝为

戴汝为同志：

附上复制件请阅。

我想这里讲的 lucid dream，叫“醒梦”吧，才是灵感思维的来源，即人的大脑处于局部工作状态，在醒觉时思维受全部知识经验影响，思想不解放，出不了灵感。在“醒梦”中，有害限制影响不存在了，所以出了灵感。

这就分清了灵感思维与形象（直感）思维。而许多人分不清，以至说只有形象（直感）思维，不存在灵感。现在我们突破了，感谢这位 Susan Blackmore！

思维科学的思维学研究要用开放的复杂巨系统方法。

请酌。

此致

敬礼！

钱学森

1990年2月12日

选自戴汝为著：《社会智能科学》第206～207页，

上海交通大学出版社，2007年1月第1版。

1994年2月13日致吴远

吴远[①]教授：

我近读尊著《中国传统哲学中的直觉思维探微》《哲学研究》1994年1期52～56页，得到一个想法，写下来同您探讨。

灵感思维是人们在生活中真有的，我自己就有过多次，解决了研究中遇到的难题。这都是在半梦半醒时发生的。现在我想：这是在正常清醒情况下，头脑中框框太多，阻碍大跨度的思维，所以要在半梦半醒中突破障碍，见到事理。但有一点必须明确：即灵感思维也是以人头脑中沉积的知识为基础的，如果没有人类的实践认识（自己的、他人告知的、书本上学得的），灵感思维也不能自天而降。

但读尊作后，我感到中国古代哲人说的直觉思维是一种在认识到正常认知过程的局限性后，梦想超越式大跨度地认知。这是在绝望中的呼声！是唯心主义的，是不可能的。所以中国儒、释、道三家说来说去也没有能真正说清直觉思维是什么。

在今天我们社会主义中国的人，应该知道：人的认识只能源于实践，自己的实践，或他人的实践而把其认知转告于我，或古人的实践通过书籍文字转告于我。不依靠实践，空想是得不到知识的。所以您文章中讲的中国传统哲学的直觉思维不能提倡。

以上所论，未知是否有当，请指教。

此致

敬礼！

钱学森

1994年2月13日

选自《钱学森书信》第8卷第65～66页，

国防工业出版社，2007年5月第1版。

---

① 吴远（1950～），女，江苏仪征人，1976年毕业于中山大学哲学系，曾任南京理工大学人文学院院长，现任河海大学教授，博士生导师、副校长，兼南京市哲学学会副会长等职；从事哲学、心理学的教学与科研，发表论文30余篇，撰写著作、教材10余部。

1995 年 1 月 2 日致戴汝为

戴汝为同志：

奉上一篇发表在《文艺研究》1994 年 5 期的讲灵感思维的文章复制件，请参阅。

此文优点在于解释了灵感的来源，来源于社会实践；又说明不仅仅是从实践照抄，而又有人脑的加工。所以是辩证唯物主义的。

但此文也有不足之处：一，它没有讲灵感思维实是半醒状态下的形象思维；二，它也没有讲为什么在清醒状态下不行呢？是因为在半醒状态人思维的框框少了，能出现大跨度的跳跃。这后一条我自己有体会：从前自己头脑中框框多，所以对一个新问题的思索，有时百思不得其解，要求灵感思维，于半梦境中突然解决。后来进入现代科学技术体系，能综合看问题了，也就能大跨度搞形象思维，问题解决得了，也就再也没有从前的灵感经验了。

所以重要的是形象（直感）思维和大成智慧学。灵感（顿悟）思维实是形象（直感）思维的特例。我们这是把灵感再次降级。

以上当否？请指教。

此致

敬礼！

钱学森

1995 年 1 月 2 日

选自《钱学森书信》第 9 卷第 1～2 页，
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1997 年 8 月 31 日致戴汝为

戴汝为同志：

现奉上 *New Scientist* 今年 8 月 9 日期文章的复制件请阅。

此文是讲用计算机作曲，有其成功的一面，即成品极似原来作曲家的创作；但也有其不足的一面，即没有创新，是机械地模仿。这一结果表示：

一，人的创造性思维还是有规律的，可以研究的。

二，创造又是机器不能代替的。

您与您的学生搞计算机识别手写数码和计算机写对联不也是这样？机器只能模仿人脑，而不能代替人脑。对吗？请教。

此致
敬礼！

钱学森
1997年8月31日
选自戴汝为著：《社会智能科学》第249页，
上海交通大学出版社2007年1月第1版。

9.5 社会思维问题的讨论

1985年5月30日致刘奎林

刘奎林同志：

5月20日及前寄的两封信都收到。

四种对社会思维学的意见都不免令人有“望文生义”之感，社会思维指的是人的集体思维。首先是思维，不是意识；第二，是人的集体在讨论问题时，相互交流思维结果，相互影响下的思维。最典型的例子是思想解放的学术讨论会，参加者从各抒己见到激烈的争论（不是打架，人与人的“关系”是和谐的），正确的东西通过争论克服了错误的东西，才显示它的正确；而错误的东西因为使正确的东西得以显示，而也有贡献。最后，最干净利索的、最清澈（不止是清楚）的观念才能出来。所以学术讨论会的作用要比参加讨论会的每个人的作用加起来大得多。这就是社会思维；研究为什么集体思维大于个体思维的简单加和，研究其规律的学问就是社会思维学。

同志们总有些上述情况的实践经验吧？要联系这种实践经验去体会社会思维的内涵，不要抠字眼！

我为什么不用“集体思维”而用“社会思维”呢？我是想当今之世是“信息社会”，我的思维已成为社会中的思维，是社会中的大脑在起作用。

但这里研究的还是思维规律，不是意识，不是行为；所以应能与社会意识、行为科学等划分清楚。

以上供参考，谬误处请指出！

此致
敬礼！

钱学森

1985 年 5 月 30 日

选自《钱学森书信》第 2 卷第 301～302 页，

国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1989 年 10 月 19 日致戴汝为

戴汝为同志：

前上一函想已见到。

请您动笔的那一节也涉及社会思维问题，正好收到刘奎林同志和杨春鼎同志合编的《思维科学导论》两本，故附上一本请阅。其中第六章就讲社会思维，为曾杰同志所写；他所没有说的，正是我们应该说的，即社会思维机理。也因为我们能讲些社会思维的机理，而且有了定性与定量相结合的综合集成法，将来社会思维学也许反而会走在形象（直感）思维学（和灵感思维学）的前头。

这都是思维系统。

此致

敬礼！

钱学森

1989 年 10 月 19 日

注文：此信说的是钱学森、于景元、戴汝为同志联合署名的文章《一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论》的形成过程。此文中“五、综合集成还可以用知识工程”一节由戴汝为执笔。此文后刊载于《自然杂志》1990 年第 1 期。

选自《钱学森书信》第 5 卷第 75 页，

国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1991 年 1 月 14 日致戴汝为

戴汝为同志：

1 月 5 日、9 日信都收到。学部委员推荐表格只有麻烦您填写了。

思维学一词，英文可用 noetics。此英文词是个老字，现在启用它是可以的，也简短。张铁声请您回信。

从定性到定量的综合集成工程，metasynthetic engineering，就是以人机结合的方法搞社会思维。由此实践再上升为理论，即社会思维学；所以社会思维学的路子好像有了。由此得到“宏观形式化”的启示，那就是形象（直感）思维学的开步了。“宏观形式化”搞清了，就可以把数学从完全“微观形式化”解放出

来，创造全新的数学，实现 Whitehead 的理想！

此致

敬礼！

钱学森

1991 年 1 月 14 日

选自《钱学森书信》第 5 卷第 435 页，

国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1993 年 9 月 3 日致张育铭

张育铭[①]同志：

您在 8 月 16 日寄来的《晋阳学刊》1993 年 4 月期已收到，使我得以拜读大作《关于建立社会思维学的几点认识》，我十分感谢！

我原来提出要搞社会思维学的一个主要原因是：怎样使一个集体在讨论问题中能互相启发、互相激励，从而使集体远胜过一个个人，不接触别人的简单总和。我自己在学术生活中，对这一点是深有体会的；一个好的集体，人人畅所欲言，思维活跃，其创造力是伟大的。而如果是“老头子说了算”，其他人都处于压抑状态，这个集体就没有什么创造力。世界上有突出贡献的研究所都属前一类。而我们中国则多半以上的“研讨会”都属后一类，冷冷清清，死气沉沉！

所以社会思维学的一个重点应是集体思维的激活。

以上请酌。

此致

敬礼！

钱学森

1993 年 9 月 3 日

选自《钱学森书信》第 7 卷第 344 页，

国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

? 年 2 月 28 日致张育铭

张育铭同志：

---

① 张育铭（又名张玉明）（1957～），男，山西和顺人；1983 年毕业于山西大学哲学系，曾任《晋阳学刊》副编审，现为山西省社会科学院思维科学研究所副所长，兼山西省思维科学学会常务副理事长兼秘书长等；论文有十多篇。

您在2月11日寄来有您的文章和讨论社会思维学的两期《晋阳学刊》都收到，我很高兴地看到诸位在研究这样一门关系到我国社会主义建设的学问。

我是比较赞同张铁声同志的看法的，因为我把思维科学作为一门独立于社会科学和行为科学（科学技术体系一共有十大部门：自然科学、社会科学、数学科学、思维科学、行为科学、系统科学、地理科学、人体科学、军事科学和文艺理论）的科学，是专门研究人的思维现象的。所以研究社会对人思维的作用属社会科学；研究人思维对社会的作用则属行为科学；研究人体状况对思维的作用及反作用则属人体科学。也许称社会思维学为群体思维学更好些；这是因为它也不一定和社会整体发展状态直接相联系，如在我国南宋时代的“鹅湖之会”就是广泛自由学术讨论的典型。

社会思维学、群体思维学的研究对我国建设来说是很重要的；我深感我国面对面的讨论，常常是主持人一家言，没有互相激励、互相促进，叫“老师说了算”或“首长说了算”！当然，面对面讨论也不能胡说八道、无边无际，要集中到一个主题；这就是“集中指导下的民主”。所以民主集中制是社会思维学、群体思维学的规律。

以上是我的看法，您以为如何？读了您寄来的两期《晋阳学刊》，使我了解到不少情况，因此我要向您表示感谢！

此致

敬礼！

钱学森

？年2月28日

注文：① 钱学森后来将现代科学技术体系扩展到11个大部门，新加上的是建筑科学，其通向马克思主义哲学的桥梁是建筑哲学。

② “鹅湖之会”是南宋淳熙二年（1175），由吕祖谦邀请朱熹与陆九渊兄弟参加的一次有名的学术讨论会，其主要内容和中心论题是如何认识事物及如何治学，因讨论会地点在江西信州（今上饶）铅山鹅湖寺而得名。

③ 此信没有写年代，据推断应为1994年。

选自《钱学森书信》第8卷第89～90页，
国防工业出版社，2007年5月第1版。

1994年10月10日致曾杰

曾杰[①]同志：

① 曾杰（1928～），男，湖北省建始县人，毕业于解放军大连俄专（本科），曾任哈尔滨科技大学哲学教研室主任、哈尔滨理工大学教授，兼任黑龙江省思维科学学会副理事长等职，专著有《社会思维学导论》，合著十余部，发表论文50余篇。

您10月6日信及大作《试论社会思维学的对象和体系》都收到，我十分感谢！

读了尊文后，我认为您用了许多心思对明确社会思维学的研究范围作了界定，这很好！但我感到似还有几点可以商量：

要说明社会思维学是讲人群体中思维可以通过对话、书信相互交流促进，并研究如何才能更好地搞这种思维交流。它不是行为科学，也不是精神文明学。就在反动的集体中，如国外的大资本家的参谋们也有社会思维，他们要策划嘛。在我国的南宋"鹅湖之会"，那是在封建意识的人们中搞社会思维。所以社会思维学是思维科学，不是行为科学。

社会思维的规律用一句话，就是我们党的民主集中制：在集中领导下的民主，在民主基础上的集中。在"鹅湖之会"不也有几条会规吗？那就是集中领导。而学生可以不同意老师，那就是民主了。所以党的14届中央委员会4次全体会议的《决议》也是社会思维学的好教材。

在我国一切群体的研究讨论中，都很少能遵守社会思维学的规律、民主集中制办。所以效果欠佳。这一条是非常重要的，它关系到我国社会主义建设的大业！

因有以上几条，我希望您把您的书写好。

此致

敬礼！

钱学森

1994年10月10日

选自曾杰、张树相著：《社会思维学》扉页，人民出版社，1996年。

第十章　关于思维科学技术科学的讨论

10.1　模式识别问题的讨论

1983 年 2 月 21 日致戴汝为

戴汝为同志：

2 月 4 日信收到。附来的四篇大作也粗粗看了，觉得您的工作很有意义。

我的看法是来自我对思维科学的考虑，而我对思维科学的考虑又出自我对现代科学技术体系的认识。所以附上两篇东西请指教。关于模式识别，我总以为好像还未找到窍门，数学那么复杂，而人却能非常简捷而又准确地解决问题。统计法是最笨的了，您的语句法大大进了一步。这也同心理学连在一起了，所以模式识别要真正找到窍门，也许还得找心理学家。您和心理所同志接触吗？希望您和搞思维科学的人，特别是搞形象思维研究的人合作。

中国在这方面似乎比较落后，你们所是全国少有的了。我想如果您或您和所内几位同道写一部讲模式识别的书是会起作用的。您有这个计划吗？

此致

革命的敬礼！

钱学森

1983 年 2 月 21 日

选自戴汝为著：《社会智能科学》第 197 页，上海交通大学出版社，2007 年 1 月第 1 版。

1984 年 1 月 23 日致李德华

李德华同志：

您在元旦给我的信和《地形匹配技术原理研究总报告》、《地形匹配技术原理研究的技术鉴定证书》都由李国平教授亲自交给我了。

您对我是过誉了，我愧不敢当，只有在工作中加倍努力，以答您的希望。

关于您院院长朱九思同志提出的加强国防科研部门同高等院校的协作关系，

我已告国防科工委科学技术委员会主任张震寰同志，他完全赞同，并嘱秘书长李庄同志在今后工作中注意。

我对您的工作是很感兴趣的，因为模式识别不但有许多应用，又是一门应用科学，或称技术科学。而地形匹配则是一项工程技术，犹如水利工程。这样就导致人们去思考，有没有更基础的理论，像基础科学？我想是有的，即思维学，它是研究人思维的规律的；又可按人的思维类型分为抽象（逻辑）思维学、形象（直感）思维学及灵感（顿悟）思维学。目前只第一种思维学有点门道，其他两门尚在探索。模式识别、科学语言学都会为形象（直感）思维学提供素材。

这样从工程技术到技术科学、再到基础科学就形成了完整的一个现代科学技术大部门——思维科学。在目前所谓信息社会即将到来时，开发思维科学是有重大意义的。您愿意作这支队伍中的一员吗？我们正在求找同道。

附上拙作两篇，请指教。

此致

敬礼！并请向李教授问安。

钱学森

1984 年 1 月 23 日

注文：从内容和时间推断，所附两篇文章应是：《系统科学、思维科学和人体科学》，刊载于《自然杂志》1981 年第 1 期；《关于思维科学》，刊载于《自然杂志》1983 年第 8 期，此文后又编入钱学森主编《关于思维科学》一书（上海人民出版社 1986 年 7 月出版）。

选自《钱学森书信》第 1 卷第 322～324 页，
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1995 年 1 月 24 日致戴汝为

戴汝为同志：

您 1 月 21 日来信收读。

您信中讲的 Chomsky 理论还是从语言结构的分析人手的，是一种从微观看问题的方法，所以也就当然会遇到难办的整体性的语义与语用问题。从一堆零星材料找整体结构，难就难在其整体性，所以从微观看问题的方法不会有多大帮助，要宏观，要用整体观。文艺思维就是运用印象，从印象到感受，又从感受到形象，都是宏观的、整体的。语言学给我们的启示是其不成功处。我们要找整体方法。对不对？请示。也实际是模式识别。

即贺

春节！

钱学森
1995 年 1 月 24 日
选自戴汝为著：《社会智能科学》第 233 页，
上海交通大学出版社 2007 年 1 月第 1 版。

10.2　综合集成法的讨论

1990 年 1 月 1 日致戴汝为

戴汝为同志：

今天是 1990 年元旦，我首先要向您拜年！想在新的一年里，您要写的那篇重要文章，定能早日完成！

我读了崔祺同志的论文。我感到他们这一代的汉语用词的确与我们不同。例如：一，在 6 页，“de Kleer 没有对部件给出明确定义，部件的概念在物理论域中没有相应的支持”，“支持”不是“依据”吗？似是英语 support 的直译。二，又 7 页有“下图简明地表示了本研究的动机”，“动机”不是“构想”吗？中国人说话怎能脱离中国的文化！

当然这是小问题。读了论文，我认识到你们在研究的知识表达和推理是为人工智能（特别是专家系统）的，而专家系统一般是简单系统或大系统，不是我们定性与定量相结合综合集成处理的开放的复杂巨系统。这里一个重要差异是：在前者，专家系统、部件就是系统描述定量空间（似为“量空间”，不是“定量空间”）所描述的对象。再就是定性变量尽管有变化，但“特性点”是十分确定的，不含糊。这在开放的复杂巨系统的处理中，很不一样：一，定性的点滴认识所用的参量是比定量空间用的量更高层次的量，它与定量空间的参量之关系，也是模糊的，专家的意见虽有重要内容，但又一时难于同系统直接可以预测的参量对上号。二，专家的定性意见中的“特性点”也是模糊的。

这些差异在上次您在系统学讨论班作报告时，我就有些察觉，所以在休息 15 分钟时，问过您。我感到您所说的定性比起定性与定量相结合综合集成中的定性要确定得多，似乎是已经快定量了。在读了崔祺同志论文后，这一点更清楚了。这也不足怪，因为像上段所说，研究对象不同嘛！

但如果真是这样，那您要写的文章就不那么容易了，还有工作要做，要深入。

以上不知对不对？请指教。

此致

敬礼！

钱学森

1990 年 1 月 1 日

选自《钱学森书信》第 5 卷第 155～157 页，

国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1990 年 5 月 16 日致于景元

于景元[①]同志：

原来称作是“定性与定量相结合的综合集成法”请考虑可否改称为“从定性到定量综合集成法”？实是综合集成定性认识达到整体定量认识的方法。可简称“综合集成工程”，英文为 metasynthetic engineering。

综合集成工程虽然是新技术，犹如本世纪 20 年代的航空工程，但那时 MIT 就在 Hunsaker 领导下成立了航空工程系。所以我们现在就应该筹备综合集成工程专业，争取早日开班，培养人是急事。

以上请考虑。

此致

敬礼！

钱学森

1990 年 5 月 16 日

选自王寿云等：《开放的复杂巨系统》第 269 页，

浙江科学技术出版社，1996 年 12 月第 1 版。

1990 年 5 月 19 日致戴汝为

戴汝为同志：

我现在想：我们原来称为“定性与定量相结合综合集成法”，似可改称“从定性到定量综合集成法”。它实际是：

① 于景元（1937～），男，黑龙江肇东市人，曾任中国航天科技集团公司 710 研究所副所长、研究员、博士生导师，国务院学位委员会委员等多职；研究方向：工程控制、系统科学及其应用等；获国家自然科学二等奖一项，国家科技进步一等奖一项、二等奖两项、三等奖两项，部级科技进步一、二等奖多项，美国东西方中心“杰出贡献奖”，国际数学建模学会最高奖“艾伯特·爱因斯坦奖”，第三届中华人口奖科学技术奖；论著 13 部，论文 170 余篇。

综合集成定性认识达到对整体的定量认识。

“法”即技术工程，是综合集成工程，英文为 metasynthetic engineering。

综合集成工程居思维科学的工程技术层次，创立并发展它将为思维科学的技术科学层次及基础科学层次（思维学）提供营养。

再上面的哲学概括——认识论见附复制件，此文也为批模拟神经网络智能机的人提供一些看法。

我在 40 年代初参加了喷气推进的工程培训班，那时的 jet-propulsion engineering 并不比现在的 metasynthetic engineering 成熟。所以我去信给于景元同志，请你们考虑搞综合集成工程专业，开始培养人。请与他商量。

此致

敬礼!

钱学森

1990 年 5 月 19 日

选自王寿云等:《开放的复杂巨系统》第 270 页，浙江科学技术出版社，1996 年 12 月第 1 版。

1990 年 8 月 15 日致戴汝为

戴汝为同志:

8 月 10 日信及附件收到，很高兴。我想从定性到定量实际就是毛泽东同志讲的从感性认识到理性认识。而这一过程又受制于计算能力的制约。例如:

在 40 年代的延安窑洞里，理性认识受极初级计算工具的限制，只能搞个大轮廓而已。不太有把握，只好再实践、再认识。

吴文俊先生的成就在于他抓住了电子计算机这一强有力的计算工具，把解析几何早就指出的从定性到定量的途径走下去了，以至到今天他要扩大到整个数学领域。

于景元他们搞经济的宏观问题，在 100 年前是不可能从定性到定量的，没有必要的计算能力。

所以您说得对: 解决开放的复杂巨系统问题，就连现代每秒几亿次的计算机，以至每秒万亿次的计算机都不够用。我们必须动脑筋，出点子，使计算量控制到机器能力之内。这就是我们面临的问题。但也不是不能解决的，早有上述历史先例嘛！愿我等共勉之。

此信复制送王寿云同志。

此致

敬礼!

钱学森

1990 年 8 月 15 日

选自王寿云等:《开放的复杂巨系统》第 271 页,

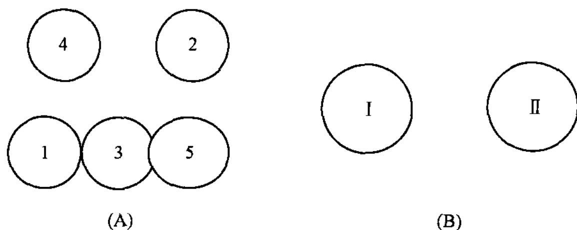
浙江科学技术出版社,1996 年 12 月第 1 版。

1991 年 1 月 24 日致戴汝为

戴汝为同志:

元月 18 日信收到。我以为,我们要解决的问题就是陈云同志讲的“交换、比较、反复”。只是我们用了电子计算机,可以做得更彻底、更全面。所以附上复制件请参阅。

国外的 meta-analysis 的毛病似在只有“比较”,没有“交换”,没有“反复”,也不能综合集成,也不能最后达到定量、建模。其中数学方法也许是模糊数学,如 Venn 图,不全面的猜测 1、2、3、4、5 如形成如下图 A 的 Venn 图,则综合 1、3、4 可能得Ⅰ,综合 2、3、5 得Ⅱ,如下图 B 的 Venn 图。



(A) (B)

则结论为Ⅰ即原来 1、3、4 的综合达到定量,模糊度最小。

……

此致

敬礼!

钱学森

1991 年 1 月 24 日

选自戴汝为著:《社会智能科学》第 209～210 页,

上海交通大学出版社,2007 年 1 月第 1 版。

？年？月？日致梅磊

梅磊[①]同志：

看了您学生韩东旭的论文后，想到以下几点，写下来供您考虑。

一，论文是历史性文件，应严肃认真。我收到的这本论文就：没有 1～14 页；91 页是倒的；文献中英文字拼错的不少。

二，论文既然明明白白地声称人脑是开放的复杂巨系统，那怎么又不加区分地把处理开放的简单巨系统的协同学、耗散结构理论也拉在一起说？这个区分是我们系统学讨论班在近三年来的发现，非常重要。

研究开放的复杂巨系统目前只能用从定性到定量综合集成法。这在我们研究得最深的又一个开放的复杂巨系统——社会，是走过上百年的曲折道路（包括数量经济学、Haken 派、Prigogine 学派）才认识的。在《自然杂志》1990 年 1 期我们三人的文章讲得很多。

三，脑科学的出路在于从定性到定量综合集成法。

四，为此我有几条建议：

（1）了解一下社会科学的历史，吸取他们的教训。

（2）把社会经济问题用从定性到定量综合集成法的经验搬到脑科学研究。为此可能要把多方面多途径的探讨综合起来：包括心理现象、生理现象，EEG、ET、CT、PET、NMR……

（3）要各方面的专家大力协同。这可能要动员有关学术组织来推动，也要国家科委、国家自然科学基金会的支持和领导。制定国家脑科学研究计划也是必要的。

以上是个庞大的设想。但考虑到人脑的重要性，我们又已看到脑科学的光明前途及发展方向，那为什么不大胆地把问题提出来呢？又一个开放的复杂巨系统不是有千万专家学者在攻关吗？那就是社会科学的研究队伍。

我对脑科学是个外行。这些话只供您和刘觐龙同志，还有您的学生考虑。不对的地方，请指出。

此致

敬礼！

钱学森

？年？月？日

---

① 梅磊（1926～），男，江苏南通县人；1949 年毕业于第二军医大学医疗系，留校任教，1958～1959 年在苏联进修航天医学（光学生理），1959～1962 年转入基洛夫军事医学科学院攻读研究生课程，获副博士学位；回国后在军事医学科学院航天医学研究所做航天预研工作，曾任副研究员、研究员；发表论文数十篇，另有专著“ET——脑功能研究新技术”；曾获得国家科技进步二等奖，国防科工委科技进步一等奖各一次。

又：混沌不是非决定的，混沌是有规律的。

注文：①《自然杂志》1990年第1期刊载钱学森、于景元、戴汝为同志联合署名的文章《一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论》。

② EEG：electroencephalo-graph，一般译为脑电图。

ET：encephalofluctuograph technology，一般译为大脑涨落图分析技术。

CT：computerized tomography，一般译为计算机断层扫描。

PET：positron emission tomography，一般译为正电子发射层折X射线摄影法。

NMR：nuclear magnetic resonance，一般译为核磁共振。

③ 这封信没有署名，也没有日期。钱学森1991年7月15日致梅磊同志的信中说明这是因为该信只供老师（梅磊）参考，据此推断写信日期应为1991年7月。

选自《钱学森书信》第6卷第59～61页，
国防工业出版社，2007年5月第1版。

1993年4月30日致于景元

于景元同志：

4月28日信中您提的意见很好。

我认为SFI的先生们开创了用巨型电子计算机直接去探索开放的复杂巨系统，从“半微观”入手，找出可能出现的宏观行为，是对我们很有用的。是我们专家中的一位“SFI机器人专家”。所谓“半微观”是说在建立计算机程序时，已经引入我们对微观混沌的认识，所以比微观层次高一些，但又不是系统的宏观规律。至于怎么去抓“半微观”而建立计算机程序，我们要从深入学习他们的工作中，逐步总结出此中学问。所谓genetic algorithm是其一。

这位“SFI机器人专家”对活人专家来说，它更“理论”些，不那么靠实践的感性认识，对探讨高速发展变化的系统更能给我们些启发。但又因为巨型电子计算机也不够真正模拟复杂巨系统，所以它又只是一位“专家”之一得之见。但我们需要这一得之见为综合集成用。

因此我建议开展这一工作。

此致

敬礼！

钱学森

1993年4月30日

选自钱学森著：《创建系统学》第458页，
山西科学技术出版社2001年11月第1版。

1994 年 1 月 13 日致戴汝为

戴汝为同志：

我读了《标记逻辑程序理论研究：说明语义》一文后，想到：

一，你们现在开展这种有一定程度容错性能的逻辑推理，是一大进步，它使理论更接近现实了。

二，但我想在从定性到定量综合集成中，实际是有非常重要的人的判断，即参与人从自己的知识素养中，提取高层次、大跨度的理论判断来改造计算结果。这也可以把计算机的计算作为“微观”的，而人要作“宏观调控”。

以上不知是否有当，请指教。

奉上我致吴远同志信的复制件，供参阅。

此致

敬礼！

钱学森

1994 年 1 月 13 日

选自戴汝为著：《社会智能科学》第 226～227 页，上海交通大学出版社，2007 年 1 月第 1 版。

1994 年 6 月 28 日致戴汝为

戴汝为同志：

我连着收到您 6 月 23 日、6 月 24 日来信及姜莉楠与您的文章《分布式专家系统中结果矛盾的解决——模型算法及系统实现》，很感谢！我也很高兴知道 6 月 20 日～6 月 23 日“香山会议”开得很好，大家比较热烈地交流讨论了我们提出的看法，认识深化了。

是“人机结合”还是“人机一体化”？用后者似乎更彻底些，但我看“人”的工作毕竟不同于“机”的工作。能“一体化”吗？所以还是用“人机结合”，是人利用机器，机器辅助人，人还是比机要高一些。您和姜莉楠设计的体系不也是证明吗？

附上复制件讲张景中和杨路的工作属软件技术，但看来很有用，它打开了一个瓶颈。我们也可以利用，对吗？

您建议我们小组聚谈一次。这由您六位定，我服从。听涂元季同志讲：您六位过几天还有商量的安排，到时你们定吧。

此致
敬礼！

钱学森
1994年6月28日
选自戴汝为著《社会智能科学》第228～229页，
上海交通大学出版社2007年1月第1版。

1995年9月17日致戴汝为

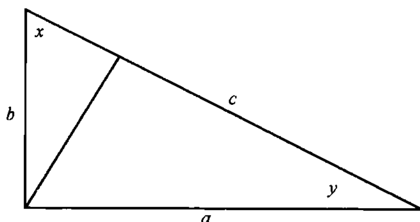
戴汝为同志：

我非常感谢您9月13日来信及三篇论文（书序）的复制件，它们使我得到许多启示！现将我的想法向您报告如下：

一，先说张景中等人的工作。我认为计算机解答几何问题是靠人输入到机器中去的语言，吴文俊的计算机处理用的是解析几何语言，计算比较繁，人去跟踪也比较难。而张景中等人用的语言加入了部分几何语言，能大大简化计算机处理。

举一个我想到的例子，即直角三角形三边的关系；从几何相似，我们有：

$$x/b = b/c, \quad y/a = a/c$$



这是直接用了几何语言。然后用机器处理，因为

$$c = x + y, \quad 而 x = b^2/c, \quad y = a^2/c$$

所以

$$c = b^2/c + a^2/c$$

得

$$a^2 + b^2 = c^2$$

计算机步骤比较简单了。

所以张景中等人有创新，要害在于用了更有效的语言。

二，所以计算机处理靠人发明的语言。

三，我们倡导的“综合集成研讨厅体系”是更提高一步，是专家的建议语言

也是在处理过程中不断修改改进。所以是靠人机的相互作用，这就是从定性到定量综合集成法的要害。

以上当否？请教。

此致

敬礼！

钱学森

1995年9月17日

选自《钱学森书信》第9卷第342～343页，
国防工业出版社，2007年5月第1版。

第十一章　关于思维科学工程技术的讨论

11.1　智能机问题的讨论

1984 年 12 月 13 日致张锡令

张锡令同志：

12 月 4 日信及大作拜读，很好。我对您这一行是没有研究的，只是因为所谓第五代计算机的问题，才在努力学。以前我认识到的就是我在上次会上讲的：走脑科学去搞思维科学的路不如走人工智能去搞思维科学的路。而怎么走人工智能的路呢？搞智能机！怎么搞智能机呢？理论与实际并重，即您说的 Samuel 的意见。

近日读：E. H. Mamdani、B. R. Gaines 合编的“Fuzzy Reasoning and ifs Applications”一书和美国《科学美国人》1984 年 9 月号上 Douglas B. Lenat 文。这更加深了我上述见解。我现在以为：

一，智能机是当代尖端技术影响国家的大事，犹如 50 年代的原子弹、洲际导弹，是高技术的尖端。

二，智能机可以从浅入深，浅就是有人参与，人机相结合。逐步让机多做一点。这样也自然一步一步地发展了思维科学。即第一代智能机，第二代智能机，第三代智能机，第四代智能机，……

三，要收集所有的“专家系统”，学习人家起步；然后分析、理论提高，自己搞智能机；经过实践再提高。

四，我正在考虑如何组织起来。这可是件难事，当前情况犹然，比学术难多了。您有什么建议？请告！

此致

敬礼！

钱学森

1984 年 12 月 13 日

选自《钱学森书信》第 2 卷第 112～113 页，

国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1985 年 1 月 4 日致张锡令

张锡令同志：

去年 12 月 25 日信收读；首先向您祝贺，祝贺您成为预备党员！继续努力吧！

看了来信，觉得要讲两点：

一，您对我讲思维科学走“宏观”的人工智能、智能机的道路，而暂不走“微观”的脑科学道路，像是放心不下。我劝您放下心，因为有历史的经验：化学就不是等待原子结构、原子核结构、“基本粒子”物理的阐明才动手的；反过来，倒是化学的成就有助于原子等的研究。

二，与建立工程控制论不同，智能机的所需理论——形象（直感）思维学，还不清楚；而工程控制论的数学基础是清楚的。所以我们现在遵循马克思主义哲学的原理——理论联系实际，来搞思维科学，要比我在 50 年代初搞工程控制论难多了。有质的不同。

以上讲的对不对？请教。

即此恭贺

春节！

钱学森

1985 年 1 月 4 日

选自《钱学森书信》第 2 卷第 127～128 页，

国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1988 年 10 月 8 日致马希文

马希文教授：

承借两位 Dreyfus 的书，翻看后感到与我们观点很相近：现在还没有智能机的理论。但我认为理论是可以得到的，就是要研究思维学；方法是通过智能机的实践，不断总结经验。至于实践的途径，我同意您信中的见解；我想智能机专家小组也是这个意见。

我想我们的意见是符合辩证唯物主义的。Lighthill 太绝对了，是机械唯物论。

您能参加专家委员会是好事。

书奉还，谢谢！

此致
敬礼！

钱学森
1988年10月8日
选自《钱学森书信》第4卷第275页，
国防工业出版社，2007年5月第1版。

1989年8月7日致汪成为

汪成为同志：

近见*Scientific American* 1989年8月号上有篇文章值得一读，故复制附上。

一年半以前，我写了篇“思维系统”的短文，前已奉上。现在这位Gelernter副教授讲的就近于我说的二阶思维系统，或一阶半思维系统。其实也是我在6年多前在国防科技情报工作会议上讲的情报分析的科学技术（见附上又一复制件）；后来我称之为“情报资料的激活工作”或“知识激活工作”。当然，Gelernter现在是讲机械化，即智能机化。

结合我们多次讨论过的，这个Gelernter讲的也是智能机技术的第一步。他强调用高度并行或极度并行计算，所以也符合我们的想法。

总之，高度并行、极度并行结合智能机研制，先搞一阶半思维系统的机器是越来越清楚了。然后再搞人机对话，逐步上升到高层次的思维系统，达到高级的智能机。道路清晰在望了！

但一定要抓高度并行和极度并行的科学技术，绝不能象某些人那样缩手缩脚，怕风险！那不是我们的战略。

以上请酌。

此致
敬礼！

钱学森
1989年8月7日

这也说明：现在就讲什么模拟神经元计算机是多么可笑！

注文：钱学森于1988年2月写的“思维系统”的短文是《思维的系统观——思维系统》，此文未公开发表。所附复制件是《科技情报工作的科学技术》一文，刊载于《国防科技情报工作》1983年“特刊”。

选自《钱学森书信》第5卷第2～3页，
国防工业出版社，2007年第1版。

1990 年 10 月 4 日致戴汝为

戴汝为同志：

这几天翻看了您 9 月送来的文集《综合各种模型的知识系统》(英文名似应是 *Knowledge Systems by Synthesizing Various Models*)，也同时看了其他几本"知识工程"、"知识表达"的书。我以为：我们的目的是设计制造能代替一部分人的脑力劳动的智能机，而这项工程技术就是人工智能，或称"人工智能学"。您提出并使用了"知识系统"这个词很好，因为的确是个"系统"。以前大家探索，提出各种模型，那都是"一得之见"，有其模糊之处。只有把各种模型综合起来，才能互补，才能从模糊到清晰。这是不是也可以说是一种"从定性到定量"?"从感性认识到理性认识"? 这里系统的概念是很有用的。

我以前说过：智能机是现在及今后 50 年我国的尖端技术。现在我想，智能机和人工智能是工程技术，属思维科学的实用层次；而上面提到的知识系统或知识系统学则属应用科学，是思维科学的中间层次；所以智能机的工作最终也将有助于思维学的研究，思维学属思维科学的基础学科层次。这一点我以前也说过，现在更清楚了。

我很希望您们的工作能应用到国家的大工程：综合集成工程，即从定性到定量综合集成总体设计部。而这里面也有许多子项目；如情报信息的提取与提炼，也就是国外叫 data fusion，我称"情报信息的激活"(information inspiritment)的工作，这也要用你们的工作，以便自动化。

以上请教。

此致

敬礼!

钱学森

1990 年 10 月 4 日

选自赵光武等主编:《思维科学研究》第 602～603 页，

中国人民大学出版社，1999 年 8 月第 1 版。

1990 年 12 月 7 日致汪成为

汪成为同志：

来信拜读了，很高兴；也请王寿云同志看了。这封信也先请他看后再寄给您。

您送来的两份复制件，一美、一日，对比之后给我启发：美国人实在些，日本人还会错下去！

人脑是一个开放的复杂巨系统，现在我们对它不认识。这在马希文同志为译出的 H. Dreyfus《计算机不能做什么》（三联书店 1986 年出版）写的序和全书都指出这一点。那就是说：研制智能机不能用老一套还原论的方法。那位 ICOT 的渊先生就是先入为主，所以他领导的工作未达到目的，失败了。理所当然！

MIT 的 Media Laboratory 大概也栽了不少跟头，现在接受教训，一点一点试验了。

既然如此，我建议对智能机问题搞个讨论班，从定性的点滴零散认识入手，如：

幼儿大脑学习过程，儿童心理教育学；

心理学；

“思维科学”，如刘奎林、杨春鼎著《思维科学导论》（工人出版社 1989 年）；

文艺美学；

各种专家系统，人工智能的工作；

其他。

然后大家讨论，探索从定性到定量的道路。

我想如果“八五”能搞出点眉目就不错了；2000 年出理论，一方面是思维学，另一方面是智能机出现！十年规划！请酌。

此致

敬礼！

钱学森

1990 年 12 月 7 日

注文：①ICOT：Institute for New Generation Computer Technology，指日本“新一代计算机技术研究所”。

②信中提到的“渊先生”是指日本“新一代计算机技术研究所”所长渊一博（Kazuhiro Fuchi）。

选自《钱学森书信》第 5 卷第 404～405 页，
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1995 年 1 月 15 日致戴汝为

戴汝为同志：

近见 *New Scientist* 1994 年 12 月 10 日期一篇讲计算机创造性的文章，我读后有所启发，故奉上其复制件，供参阅。

我们不神化人脑的思维过程，因为人脑也是物质的嘛。但人脑比较复杂，又与外界信息源有交往，双向交往；是开放的复杂巨系统。而计算机从这点看，太简单，过于僵化，所以“笨”。此文中讲的几个尝试只是第一步，所以还“笨”。但工作做下去，可以一步一步有改进，一般工作不必要人去做了。这就是“智能机”的任务。我们研究思维学就是为了这个目的。洋人的工作可供参考。

以上请教。

此致

敬礼！

钱学森

1995年1月15日

选自戴汝为著：《社会智能科学》第232页，

上海交通大学出版社2007年1月第1版。

11.2　人工智能问题的讨论

1988年1月24日致汪成为

汪成为同志：

一个人要能为人民做点事，就要实事求是地对待自己和实事求是地对待客观世界；从您的来信看，您是能做到这一点的。所以很好！

您的大作《AI在仿真和决策支持系统中的应用》翻看了。第一，在文章标题中似不宜用外语，“AI”宜改为“人工智能”。中国人是庄严的呀！第二，文章似宜站得更高一点来看问题。如：为什么要决策支持系统？我们日常生活中要解决很多决策问题，但因为问题比较简单，几秒钟一想就能决策，也就不要去动用什么决策支持系统。可见决策支持系统是由于现代高层次决策问题是非常复杂的，因素极多，而且有时限，不能久拖不决。如何把等于千万个助理和助手的工作高效能地组织利用好？这就非有决策支持系统不可。但又有两点：

一，决策者的智慧还是决定一切的，不能让决策支持系统喧宾夺主，成了决策者；

二，决策助理、助手，即参谋也有一个方面的经验性知识和能力，不是“死理论”，所以又得用“AI”。

我认为这第二点是重要的，这就是马克思主义哲学的观点、辩证唯物主义的观点。外国人是讲不清楚的；中国人总要胜过这帮家伙！

以上请酌。原稿奉还。

此致

敬礼!

钱学森

1988 年 1 月 24 日

这实际上也是思维系统工程。

选自《钱学森书信》第 4 卷第 131～132 页，
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1990 年 11 月 8 日致刘奎林

刘奎林同志：

好久不通信了，您那里的思维学、思维科学探讨有进展吗？出书只是一个阶段的成就，还要做工作呀。

因近见您省社会科学联合会办的《学术交流》1990 年 5 期中有您校周振林同志和黑龙江大学哲学系何颖同志的文章，实际上都在讲思维学，而他们都避开思维学这个词。您似应同他们谈谈，结为思维科学的同道。

现在我想，搞思维学应从实际问题入手，才能有实实在在的进展；而具体做法可以是人工智能、知识工程，也就是叫电子计算机做人脑的助手，结成人机思维。在这里我们已开始了，您那里也一定有搞人工智能的同志，何不同他们联系？

哲学社会科学要同自然科学工程技术联盟嘛，《哲学研究》1990 年 5 期不是有评论员文章吗？

关于领导科学，近闻周琳、郑英、童荣、简开利著《马克思主义领导思想史纲》(求实出版社，1990 年)，想法是对头的，强调了领导的阶级属性。此书您见到了吗？

以上请教。

此致

敬礼!

钱学森

1990 年 11 月 8 日

选自《钱学森书信》第 5 卷第 393～394 页，
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1993 年 1 月 3 日致李德华

李德华教授：

去年 12 月 26 日毛泽东 99 周年诞辰时您写给我的信于 31 日见到。我现在体弱，已不出席会议，客人也极少见；所以还是以书信交谈吧。

首先，我感谢您寄来贺年卡！我也向尊大人和您拜个晚年！尊大人手书的自作《浣溪沙》仍悬于我座右，早夕共处！

您的长信使我对您有更深的理解。你们这一代比之于我们这老一代是更幸福得多了，没有国家破亡之哀了；但也有苦恼，八年“抗战”呵！您终于走过来了，已是高等学府的教授、国家“攀登计划”“认识科学”专家委员会成员！今后我只能当您的顾问；说“老师”的话，那只能是“认识科学”的首席科学家之一的戴汝为同志，他是中国科学院学部委员。

我这样说，因为戴汝为同志也走过一段艰难的历程，而他对 AI 有比较符合马克思主义哲学的认识，不搞机械唯物论。搞人与机的辩证统一，成功地解决了计算机识别手写汉字的问题——一个初级的计算机图像识别。

此致

敬礼！

钱学森

1993 年 1 月 3 日

注文：AI：artificial intelligence，译为人工智能。

选自《钱学森书信》第 7 卷第 70～71 页，
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1995 年 10 月 23 日致戴汝为、钱学敏

戴汝为、钱学敏同志：

您二位到医院来看我，谈的问题都十分重要，我一直在思考。现在我已痊愈，一切恢复正常，已于 10 月 20 日回家。

写这封信是为了讲一个想法，请您二位考虑并指教。

读了清华大学张钹教授的《近十年人工智能的进展》，认为“人工智能”从按设计者的思想设计出一个机器按规定执行这一工作开始，现在是要机器像人那样在变化多端的环境中完成某一方面的工作。这是很大的扩展！对这一大变化，国外人工智能专业工作者似乎没有认识到：一，机器要认识工作对象；二，机器要认识工作环境；三，机器认识了工作对象和工作环境这种千变万化的情况后，

要能做出正确的判断，选出工作方案去执行；四，在执行中也会发现有原来方案不足或有误，要纠正。换句话说，机器要能像人那样感觉和思考！这是说人工智能是一项系统工程，要用多种学科，只有所谓“人工智能”是远远不够的，要用控制论（讲反馈外部情况），用系统科学，还有思维科学。

其实说到底，是要用机器干人做的事，人工智能还需要了解人，即人体科学知识。至于部件设计要用自然科学知识，认识工作环境需要社会科学等等，也不能忽略。这不是涉及整个现代科学技术体系了吗？所以未来的人工智能工作是人·机结合的一项“大成智慧”工程！

我们一旦进入这样的人工智能世界，人类也就跟着改造了，将会出现一个“新人类”，不只是人，是人机结合的“新人类”！附上一 *New Scientist* 9 月 16 日期文的复制件可参阅。

我们人民中国向此方向努力，也是为了促进实现新世界！

此致

敬礼！

钱学森

1995 年 10 月 23 日

注文：所附复制件是 Oh Look：Ne’ s Brought Me a Present 一文，刊载于 1995 年 9 月 16 日 *New Scientist* 杂志。

选自《钱学森书信》第 9 卷第 359～361 页，
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1998 年 4 月 23 日致戴汝为

戴汝为同志：

您 4 月 17 日信早收到，4 月 22 日我们见面时我已向您讲了我的看法。

其实这是老看法了。AI 不是用电子计算机即信息网络代替人，而是人机结合，两方面各发挥所长，造成比人更有能力的智能体系以迎接 21 世纪。

目前一个紧迫问题是现在用人制作软件的工作有一大部简单程序步法，使软件制作者很心烦。这应该让计算机去做，解放软件工作者。这对吗？请教。

此致

敬礼！

钱学森

1998 年 4 月 23 日

选自《钱学森书信》第 10 卷第 369 页，
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

11.3　灵境技术的讨论

1991年7月13日致戴汝为

戴汝为同志：

奉上李德华的信，他讲的形象思维研究思想，就请您提意见吧。我复信复制件附上供参阅。

近日读了一些报道，看来用 virtual reality 来管理生产，组织飞机起飞降落于繁忙的机场，以至艺术音乐现场演出都大有可为。这个“灵境技术”可能是比较现实的人机综合智能系统，21世纪会有大发展。你们专题领导小组似应讨论。

此致

敬礼！

钱学森

1991年7月13日

选自《钱学森书信》第6卷第56页，

国防工业出版社，2007年5月第1版。

1993年6月21日致戴汝为

戴汝为同志：

近日有些想法，写下来向您报告。

几天来读了王汝笠、章明、周斌：《第六代计算机——人工神经网络计算机》(科学技术文献出版社1992年12月出版)，看来从1946年第一代用电子管的计算机问世以来，已有60年代初的第二代用晶体管的计算机，60年代中期的第三代集成电路计算机，70年代初的大规模集成电路第四代计算机。这都一直沿用 von Neumann 结构，用数理逻辑软件，其局限性逐步暴露。为了打破这一限制，到80年代日本人试了试，搞了不成功的第五代计算机。紧接着美国人又说要模拟人脑神经网络搞第六代计算机；我看第六代计算机工作也不会成功，因为我们还没有能搞清人脑是怎么工作的。但是：

第五代计算机和第六代计算机都为第七代计算机——极度并行计算机开路，第七代计算机要吸取上代计算机的经验与教训。第七代计算机应是863计划的重点。

另一个问题是灵境技术。您和王珏同志的论述是研究人脑与文字、图像信息的结合。现在出了灵境技术能使人的感觉大大开拓，小至分子，大至宇宙都可亲临其境。这不将使人的知觉及认知来一次飞跃吗？这是人脑与适感信息的配合，其作用决不下于人脑与电子计算机的综合。所以我想

灵境技术是一次新的技术革命。

以上两点供您写大文章参考。

此致

敬礼！

钱学森

1993 年 6 月 21 日

注文：von Neumann：John von Neumann，约翰·冯·诺伊曼（1903～1957），美国著名数学家，在纯粹数学和应用数学方面都有杰出贡献。

选自《钱学森书信》第 7 卷第 249～250 页，
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1994 年 10 月 10 日致戴汝为、汪成为、钱学敏

戴汝为同志、汪成为同志、钱学敏同志：

我近读汪成为同志写的《灵境是人们所追求的一个和谐的人机环境，一个崭新的信息空间（cyberspace）》颇有启发。还看了《高技术通讯》1994 年 9 期 39～43 页清华大学计算机系曾建超同志及石定机同志写的《虚拟现实技术及系统》。钱学敏同志则多次在她写的文章中提到灵境技术与大成智慧的关系。由此引起我的一个想法：灵境技术是继计算机技术革命之后的又一项技术革命。它将引发一系列震撼全世界的变革，一定是人类历史中的大事。具体关系见附页图表。

请教。

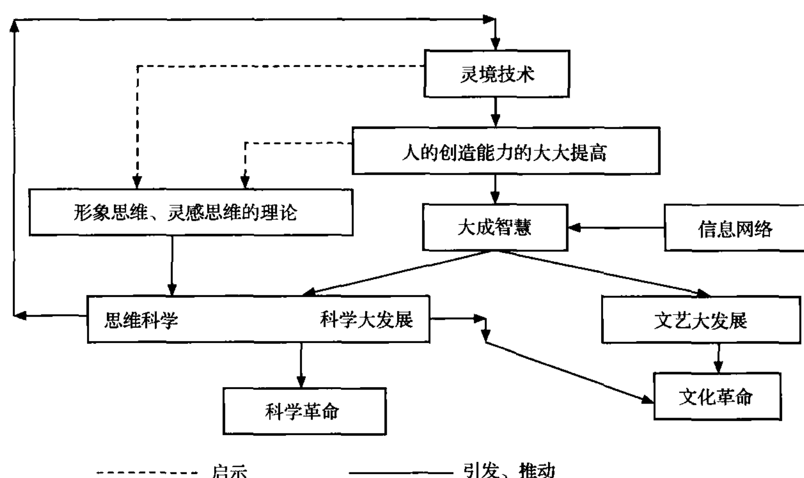
此致

敬礼！

钱学森

1994 年 10 月 10 日

选自《钱学森书信》第 8 卷第 398～399 页，
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。



1995 年 7 月 9 日致戴汝为

戴汝为同志：

您 7 月 1 日来信收读。您将把 Minsky 及 Penrose 的观点作一番审视，这是很重要的，它将是思维学的澄清！此中一个关键还是辩证唯物主义。

我听汪成为同志告，他将在即将召开的中国工程院大会讲“灵境”，这是好事。以前人们利用电子计算机对逻辑思维方面为人帮忙，发展了人机结合的逻辑思维。现在通过灵境技术以及有关的 virtual prototyping virtual architecture design，实是在搞人机结合的形象思维。它们都使人的思维能力有一个飞跃。

我这个想法对吗？请教。

此致

敬礼！

钱学森

1995 年 7 月 9 日

选自《钱学森书信》第 9 卷第 287 页，
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

11.4 综合集成研讨厅体系的讨论

1992 年 3 月 2 日致王寿云

王寿云[①]同志：

你们几位正在写作的文章可否以此为题：《从定性到定量综合集成研讨厅体系》？这是把下列成功经验汇总了：

几十年来世界学术讨论的 Seminar；

C^3/I 及作战模拟；

从定性到定量综合集成法；

情报信息技术；

"第五次产业革命"；

人工智能；

"灵境"；

人机结合智能系统；

系统学；

……

请酌。这是又一次飞跃！

钱学森

1992 年 3 月 2 日

注文：这是钱学森指导王寿云、于景元、戴汝为、汪成为、钱学敏、涂元季六人写《我们应该研究如何迎接 21 世纪》一文写给王寿云同志的信。此文在 1994 年底完稿，1995 年初由钱学森推荐中央领导同志参阅。后收入钱学森著：《创建系统学》一书（山西科学技术出版社 2001 年 11 月出版）。

选自《钱学森书信》第 6 卷第 266 页，
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1992 年 3 月 6 日致汪成为

汪成为同志：

---

① 王寿云（1938～1997），男，1960 年北京大学数学系毕业后到国防部航空委员会第五研究院工作，1965 年起一直任钱学森的秘书，曾任国防科工委综合计划部规划计划局副局长等多职，兼中国系统工程学会副理事长、北京大学等多校兼职教授；1990 年授予少将军衔；获国家科技进步奖二等奖三项，部委级科技进步奖一等奖三项、二等奖两项，中国航天基金荣誉奖一项和中国工程院第二届中国工程科技奖一项；发表论文几十篇、著作多部。

读了您 3 月 3 日信，感到您的确很用心，综合集成了国外工作，提出了您自己的看法。您说时间不够用，这是所有在一线的同志的困难，问题在于集中精力，提高效率：一，在您负责的前提下，放手让副手大胆地去承担一个方面的工作；二，用马克思主义哲学做指导。您千万要避免陷于日常繁琐事务。当所长要会当！

我对来信中的细节确实不懂，那么多花样的 technologies，我不了解其内容呀，我是外行人嘛。我只想说一点：我不以为能造出没有人实时参与的智能计算机。所以奋斗目标不是中国智能计算机，而是人机结合的智能计算机体系。这是我对 1989 年讲的又发展了，我得益于近年来对从定性到定量综合集成的学习。我前次同您六位谈的就是这个认识。最近我向王寿云同志提出一个新名词，叫“从定性到定量综合集成研讨厅体系”，是专家们同计算机（可能要几十亿 flop）和信息资料情报系统一起工作的“厅”。这个概念行不行？请你们研究。

您 3 月 3 日信及此信已请王寿云同志阅。

此致

敬礼！

钱学森

1992 年 3 月 6 日

选自王寿云等：《开放的复杂巨系统》第 279～280 页，
浙江科学技术出版社，1996 年 12 月第 1 版。

1992 年 3 月 13 日致戴汝为

戴汝为同志：

我很高兴地读了您 3 月 4 日来信及附文《人机结合的智能系统》。马希文同志首先提出人机结合的概念，功不可没！

最近我已告王寿云同志和汪成为同志，现在再向您说，我们的目标是建成一个“从定性到定量综合集成研讨厅体系”。这是把专家们和知识库信息系统、各 AI 系统、几十亿次/秒的巨型计算机，像作战指挥演示厅那样组织起来，成为巨型人机结合的智能系统。组织二字代表了逻辑、理性，而专家们和各 AI 系统代表了以实践经验为基础的非逻辑、非理性智能。所以这个厅是 21 世纪的民主集中制工作厅，是辩证思维的体现！

自本世纪初以来，发达国家中成功的科学研究中心，都有所谓 seminar。我在 Caltech 就有幸参加过这种活动，印象很深，这真是民主集中！在社会主义中国，我们应该把这个宝贵经验与马克思列宁主义毛泽东思想加现代科学技术结合起来，这就是厅。

这个想法，请你们几位讨论并指教。

此致

敬礼！

钱学森

1992年3月13日

又：民主集中制是中国老一辈革命家提出来的，但在他们的时代缺乏必要的科学技术手段来真正实现它。

选自王寿云等：《开放的复杂巨系统》第280～281页，浙江科学技术出版社，1996年12月第1版。

1992年3月23日致戴汝为

戴汝为同志：

近读《中国社会科学》1992年2期（207页）王钟陵的《论神话思维的特征》，又联系到去年《自然杂志》5期戴运生的《第二次成人过程原理》，我想到一个问题：人脑的思维能力是不断发展的：人类的历史含有此意；一个人的思维能力也如此。

那么，它又是怎样发展的呢？第一是人脑这个开放的复杂巨系统有很强的可塑性，是活的，不是死的、不变的；第二加实践的作用。K. Popper有三个世界说：第一世界是我们说的不以人的意志为转移的客观世界；第二世界是主观世界，即脑；第三世界是人类实践累积的知识信息世界，这当然是前人和他人实践的创造物。因此，我想人的思维能力是第一世界与第二世界和第三世界相互作用的成果。

这样，研究脑科学的任务就是搞清这种思维能力发展的机理、机制，是精神学 mentalias 的核心。而思维科学的任务就是从思维的角度找出思维能力发展的途径并付诸实施。当然这里首先要解决：什么叫思维能力？也就是什么叫聪明、智慧？

我们要研制的从定性到定量综合集成研讨厅体系就是完成思维科学这一任务的一个建议。这能不能说是开拓性的想法？

思维科学也是动态的科学，不是静态的科学；我们要创立思维动力学，而以前我们说的只是思维静力学。

以上想法如何？请教。

此致

敬礼！

钱学森

1992 年 3 月 23 日

选自赵光武等主编：《思维科学研究》第 605 页，

中国人民大学出版社，1999 年 8 月第 1 版。

1992 年 6 月 30 日致于景元

于景元同志：

6 月 28 日信收到。我对信本身没有什么意见，而且认识问题也只能在实践中逐步搞清楚，现在把工作开展起来是最重要的。

我对附图表有点看法：太僵化了，没有表达出将来这个“厅”是专家集体（在一位带头“帅才”领导下）与书本成文的知识、不成文的星零体会、各种信息资料，以及由以上“情报”激活了的专为研究问题的 supporting software，之间的反复相互作用，不是单向箭头，是双向箭头。其中还要用电子计算机试算，算出结果又引起专家要查询资料、要新的激活了的“情报”，就连“命题”也会要修订，不是从一开始就定死了的。在一轮讨论中，这种交互作用出现可以很快，所以电子计算机要高速、并联工作。由于这些道理，图表要重新画。Seminar的经验就在于此！

您和王寿云同志、汪成为同志、戴汝为同志要多多讨论。因此我把来信连图表转王寿云同志了。王寿云同志对作战模拟有研究，但“厅”比那更高一层，更复杂。我希望您们经过讨论，能搞出一个工作方案，要报上级批示呀。

此致

敬礼！

钱学森

1992 年 6 月 30 日

选自《钱学森书信》第 6 卷第 325～326 页，

国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1995 年 5 月 14 日致王寿云、汪成为

王寿云同志、汪成为同志：

我很高兴能收到您二位 5 月 8 日来信及关于研讨厅的材料；我要向您二位祝贺已取得的成绩：已有了个能运转的研讨厅体系了。

但从定性到定量综合集成研讨厅是件新生事物，我们只是从过去于景元同志

的工作悟出这个想法，理论是极有限的。所以发展研讨厅体系要靠实践，实际用它加专家们一起，在实干中发现改进的一条条可能，再一步一步改进。所以要多用，多探讨改进。

就是一个题目，也可以多次试用，找出最有效的工作方法。因此运转经费要多一些，也要有一帮肯下功夫同研讨厅“泡”的同志。“熟”才能生“巧”嘛。

以上也许您二位早想到了，那我就是废话连篇了！

此致

敬礼！

钱学森

1995年5月14日

选自《钱学森书信》第9卷第203页，

国防工业出版社，2007年5月第1版。

2000年7月23日致汪成为

汪成为院士：

这几天翻看了您送来的简介和两本论文集，感到您的研究工作取得实质性进展，——我们“定性到定量综合集成研讨厅”有了进展，可喜可庆！

这些工作都是国防大学办的，是系统工程在国防工作、作战工作的体现，也是江主席讲的：要在我们工作中广泛运用！我讲这是大好事！也是国防工作的大好事！

前年我收到您的信，说您在国防科技大学去开讲了定性到定量综合集成工作，现在又去国防大学办了这件大事！是大好事！（戴汝为院士也向大家宣传这件事，您不会不知道）。

我近日在《科学时报》（2000年7月20日1版）看到一文讲上海信息化建设的事，也是我们宣传的现代科技发展；是大好事。不知道您见到了没有，奉上此报，请阅。我们国家近来好事多，可庆！

我祝您夏安！

钱学森

2000年7月23日

选自《钱学森书信》第10卷第474～475页，

国防工业出版社，2007年5月第1版。

11.5　大成智慧问题的讨论

1992 年 8 月 27 日致王寿云

王寿云同志：

不知您是否已返京，先写这封信，因近日颇有所感，时不我待，中国人就要上天了呀！

前日上送朱主任一个美国人要抓 systems integration 的材料，即全国乃至世界信息一元化，这是第五次产业革命的大事。这几天又从戴汝为同志那里得美籍华人华云生的论文数篇是讲几项 AI 技术的；从王元同志那里得到讲计算机辅助教数学（数学 computer assisted instruction，CAl）的论文集。由此深感我们的从定性到定量综合集成法和定性到定量综合集成研讨厅体系所表述的概念还要深化。您的论文《国防系统分析方法的新近发展》也指向这一点。

什么呢？是否是：把人类几千年来的智慧成就集其大成，把计算机科学技术，人工智能技术，作战模拟技术，思维科学，学术交流经验，加上马克思主义哲学，合成为“大成智慧工程，metasynthetic engineering”。用这样一个词是吸取了中国传统文化的精华的，有中国味。

我想“大成智慧工程”的领导核心就是“第五次产业革命”的五员大将：您为主帅，于景元同志抓联系实际问题的这一核心，戴汝为同志负责吸取人工智能成就这一重要工作，汪成为同志负责软、硬件的组织工作，钱学敏大姐负责哲学方面的概念深化与提高。行不行？请你们商量。你们和我的联系人仍为涂元季同志。

最后，这件事关中国社会主义建设的大业，领导怎样抓？请朱主任提出，请国防科工委领导酌定。大事啊！

此致

敬礼！

钱学森

1992 年 8 月 27 日

附文件二，“大成”释。

《辞海》释“大成”：

一，大的成就。①指事功。《诗 · 小雅 · 车攻》：“允矣君子，展也大成。”②指学问。《礼记 · 学记》：“九年知类通达，强立而不反，谓之大成。”③指道德。《孟子 · 万章下》：“孔子之谓集大成：集大成也者，金声而玉振之也。”赵岐

注："孔子集先圣之大道，以成己之圣德者也。"

二，完备。《老子》："大成若缺，其用不弊。"

注文：AI：artificial intelligence，译为"人工智能"。

选自《钱学森书信》第 6 卷第 392～394 页，
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1992 年 9 月 12 日致戴汝为

戴汝为同志：

读了来信感到我们的确有优势，而目前的问题仍然是党和国家不知道，不抓这样一件国家级的"尖端科学技术"。这是要集中力量，高投入，"大兵团作战"的组织指挥，才能干成的。一旦成功，其威力决不下于"两弹一星"。请你们这个班子找王寿云同志商量。

看了 Elizabeth Pollitzer 的 *Engineering Cognitive Systems*：*Japan's RWC Piogramme*，觉得日本的 MITl 又在玩"第五代计算机"的老一套：

一，如果 MITl 真要搞 RWC，他们的出发点就是错误的：人认识人脑的作用远未达到他们要求的水平，他们完全脱离实际。前奉上 Scientific American1992 年 9 月号 Francis Crick 及 Christof Koch 文就说明了。所以"RWC"之结局一定跟"5th Generation Computers"一样！

二，日本人是鬼的，我猜他们心中另有打算。"第五代计算机"的实质可能是大规模集成电路；若如此，日本人是成功的，花 4 亿美元是值得的。这次"RWC"的实质可能是极度并行计算；他们如搞得成，花 4 亿美元也是值得的。日本人讲"孙子兵法"，虚虚实实，世界上的老实人切莫上当！

所以面临这样的世界科技竞争局势，社会主义中国也千万不要当老实人。我们也要讲战略战术！

以上请你们研究。

此致

敬礼！

钱学森
1992 年 9 月 12 日

注文：MITI：Ministry of International Trade and Industry，指"日本通产省"。

RWC：real world computer，译为"真实世界计算机"。

选自《钱学森书信》第 6 卷第 429～430 页，
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1992 年 10 月 19 日致戴汝为

戴汝为同志：

您见此信时想是刚从海外归来，访问很成功吧？

尊作《关于智能系统的综合集成》定稿已收到，仔细读了之后，深感这是一篇重要论文。

现在的任务之一是说服人、团结一切可以团结的人。因此想到那些搞模糊系统的人，那位搞灰色系统的邓巨龙。近日又见您的学会筹备组办的《思维科学通讯》1992 年 3 期，上面有田运、叶眺新、徐章英、顾力兵等人的文章，也说到那位搞广义量化方法的郭俊义。所有这批人想的、说的，他们解决不了的问题，您的论文指出了唯一光明大道。我们有这个信心，就如同 1921 年中国共产党成立了，才几十人的党就看准了中国人民的前途，一条充满光明的大道！也正如党的方针之一是团结一切爱国自强力量一样，我们今天也要团结上述这些搞思维科学的人，组织“统一战线”，为建立从定性到定量综合集成研讨厅体系的伟业而努力。

我建议您的合作者，王珏同志写这样一篇文章，说服他们，讲明他们要干的，只能用我们的方法。

我们的事业是伟大的，我们是要把古今中外千亿人的头脑组织成为一个伟大的思维体系，复杂超巨型系统。可否称之为“大成智慧工程”？

此致

敬礼！

钱学森

1992 年 10 月 19 日

选自《钱学森书信》第 6 卷第 501～502 页，

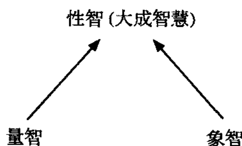
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1993 年 1 月 25 日致戴汝为

戴汝为同志：

见到您元月 21 日来信后，我一直在思考。我很同意您的看法。总之，机器是很有用的，但还是人用机器，人机结合中人仍是主人。因此我们要改进人的感知能力，multi-media 技术（江总书记在不久前的宣传部长会议上的讲话用了“大众传媒”技术这个词）及灵境技术都是这个目的。Lenat、Feigenbaum、Hewitl 的工作也是这个目的。当然，外国人的这些工作我们都要利用。

至于人的思维，我们一直说有抽象（逻辑）思维、形象（直感）思维、灵感（顿悟）思维和社会思维。又说有量智及性智。近日我想：性智又分两层，低一层次是以形象为基本的，可以称“象智”，高层的才是性智。所以



如何？请教。

此致

敬礼！

钱学森

1993 年 1 月 25 日

选自《钱学森书信》第 7 卷第 90 页，

国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1993 年 1 月 31 日致戴汝为

戴汝为同志：

元月 27 日信及朱梧槚（木加贾）教授写的《中介系统简释》都收到。您说对我的做法“应该加以学习”。但我能这样干是因为有党和人民的支持，有领导给的生活和工作条件，而这是十分难得的呵！

我在 1988 年 2 月 2 日，在有您参加的一次会上讲过“思维系统”。朱梧槚的工作就是思维系统的建立中的工作。他的 CL 是一阶逻辑？还是现代的更广的多阶逻辑？应该把 ML 与多阶逻辑体系的关系搞清楚。另一方面，将来 ML 也要沉现出结构，把形象（直感）思维和灵感（顿悟）思维包括进去；最后综其大成的是社会思维了。这才是思维系统，是大成智慧学了。

翻看了 Arnheim 的书，感到说得好，是我们多年来一直宣传的观点。我还要仔细读，您我有何心得再交流吧。总之，这是本好书，应多加介绍。

此致

敬礼！

钱学森

1993 年 1 月 31 日

注文：Arnheim：Rudolf Arnheim，鲁道夫阿恩海姆（1904～2007），生于德国，后移居美国，著名的文艺心理学家。

选自《钱学森书信》第 7 卷第 105 页，

国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1993 年 2 月 25 日致戴汝为

戴汝为同志：

从 2 月 8 日起，又有 2 月 16 日、2 月 19 日两封，共四封信，还有您和王珏同志文，田捷同志信及 ITDSS 简介，都读了。很感谢！认识到的有以下几点：

一，您提出“巨型智能系统”的概念是个突破；而且又明确分为四种方案，把一直到今天的各种设想系统化了。我赞成“自力型”与“社会型”的说法，而最后一种是把人包括进去了，是超巨型智能系统了。

二，凡是“社会型”的巨型智能系统都有“进化”的特征，即系统不断成长、不断提高。我们的 HWSMsE 就是如此的。这一点是否要强调？请考虑。

三，既然机器还不能认识形象，田捷同志的 ITDSS 用人来干这件事，那是否在我们的 HWSMsE 超巨型智能系统中就请专家们干这件事？这是把形象（直感）思维半机械化了。

其实我说的“情报的激活”也是这回事。汪成为的 OO 软件技术办不了，就把人引进去。我 1983 年就是这么说的，见附上复制件。请教。

四，当然人还可以创造出“库”里没有的形象，这是“悟”了。现在我想灵感（顿悟）思维就是这么一回事。灵感、悟都是“无中生有”；自然这“无”也不是真空，是有一切过去之“有”为基础的。可是一旦灵感来了，悟出来了，又成为一种入库的形象，增加库容了。这就是成长。

以上当否？请教。

敬礼！

钱学森

1993 年 2 月 25 日

又：近来我深感跨学科之重要性，R · Arnheim 就跨学科。所以大成智慧学是当务之急！

注文：① HWSMsE：hall for work shop of metasynthetic engineering，译为“综合集成研讨厅”。

ITDSS：information technology decision support system，译为“信息技术决策支持系统”。

② 所附复制件是《科技情报工作的科学技术》一文，刊载于《国防科技情报工作》1983 年“特刊”。

选自《钱学森书信》第 7 卷第 133～134 页，

国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1993 年 6 月 10 日致钱学敏：

钱学敏教授：

前上一函说到认识世界的思维体系、性智与量智，以及大成智慧学作为马克

思主义哲学发展深化的一个新阶段。现将我们那张老图增补了一下，另绘新图附上，请看还有什么毛病。

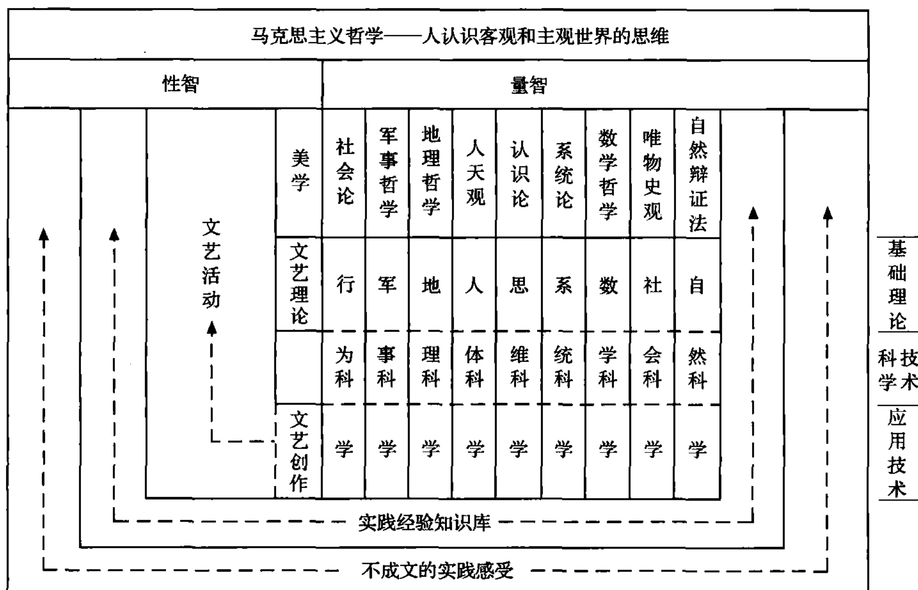
另有两件有关的事。

一是近读吴国盛著《自然本体化之误》(湖南科技出版社 1993 年 3 月出版)，有些想法。吴国盛是位才 29 岁的中国社会科学院哲学研究所自然辩证法研究室助理研究员，是个聪明人，是黄楠森教授的学生。1964 年 8 月 21 日生于湖北广济，15 岁入北京大学地球物理系学空间物理，1983 年 19 岁毕业；又入北京大学哲学系，于 1986 年 22 岁获哲学硕士，到中国社会科学院哲学研究所。此书是批中国的自然辩证法工作者近年来的一些钻牛角尖的怪论的。而中国自然辩证法工作者怎么会有这些错误呢？吴国盛没有讲。我认为他们之所以犯错误是由于他们不懂今天的自然科学，死啃老书本！上次送您的李政道教授的文章就不是这样。由此可见附图的重要性。

二是我读了一篇徐崇温同志（也是中国社会科学院哲学研究所的，是研究员）写的《什么是“西方马克思主义”》（《内部参考》，人民日报总编室编印，1993 年 23 期)，其中讲到：在西方国家“统治阶级的统治，主要不是建立在暴力的基础上，而是建立在统治阶级对于被统治阶级在意识形态和文化上的领导权的基础上，建立在被统治阶级由此而对统治阶级的统治所给予的‘同意’的基础上，这就给西方资产阶级政权带来了强大的力量。”

所以我们在做的工作是有十分重要意义的，以马克思主义哲学为指导核心的知识体系论、大成智慧学是革命的锐利武器！

总之，我们要加油干呵！



以上当否？请教。

此致

敬礼！

钱学森

1993 年 6 月 10 日

《钱学森书信》第 7 卷第 242～244 页，

国防工业出版社 2007 年 5 月第 1 版。

1993 年 7 月 8 日致钱学敏

钱学敏教授：

昨日（7 月 7 日）信收读。

关于世界社会形态问题，首先是树立这个概念，然后再详细论证。中国人民大学在这方面人才很多，我希望他们对这样一个关系到 21 世纪的大问题有所建树。

熊十力先生是唯心主义者，但马克思在当年不也吸取了黑格尔的东西？辩证唯物主义不就是取唯心主义和机械唯物论之所长，弃其所误而形成的吗？核心的问题在于承认客观世界是不以人们的意志而存在的，是物质的；连人、人脑也是物质的。但（重要的“但”）人脑中所形成的对世界的认识则是人根据实践，个人实践和表达出来的他人（包括古人）实践而在脑中加工而成的。这是一种特殊的物质运动。也因为这个原因，人脑中的认识不等于客观世界本身，永远不会如此，只能经过曲折的道路逐步逼近。

人的认识过程是对客观存在的、开放的复杂巨系统的研究。方法有两种：

一，还原论的，即分解事物，加逻辑推断；

二，整体观的，即从事物的宏观现象（出发），用形象思维去领会。

前者给出的可以借用熊先生的词，称量智；后者给出的则可以借用熊先生的词，称性智。

所以也就是思维方法中所谓逻辑思维与形象思维之分。我记得看到过毛泽东同志批评那些认为人只有逻辑思维的人，说还有形象思维。这几年来，我考虑思维科学问题的过程中，这一思想越来越清楚：光用还原论的逻辑思维是不够的，一定要加上整体观的形象思维（包括灵感思维）。因此人的智慧是两大部分：量智和性智。缺一不成智慧！此为“大成智慧学”，是辩证唯物主义的。

以上讲的，是我这个“业余爱好者”的话，未登大雅之堂，我向您这位马克思主义哲学专家请教！

此致

敬礼！

钱学森

1993年7月8日

又：《哲学研究》1993年6期26页高清海教授文可一读。

注文：熊十力同志是中国现代著名哲学家，全国政协第二届至第四届委员，钱学森在构建现代科学技术体系时借用了他的“性智”、“量智”的概念。

选自《钱学森书信》第7卷第261～262页，

国防工业出版社，2007年5月第1版。

1993年7月16日致戴汝为

戴汝为同志：

收到您7月11日信后，读了好几遍，对我启发至深！您从中国传统文化中的“意”与“象”的关系，把它们都作为整体宏观的思维来考察，把“意”作为最高的理性认识，“象”则为感性认识。这是注入了从定性到定量综合集成的思想，好极了！

Arnheim的《视觉思维》只说到“象”。中医的“望闻问切”是经过医生用学问和经验综合判别为医“象”，但怎么治病，还要进一步用中医的人体宏观理论，阴阳和金木水火土相生相克的理论，加临床经验，再上升为治病的“意”。您最后的 P^i（I^i，S^i）是思维认识的简洁表达。我们的大成智慧工程与大成智慧学就是这个思想。您把形象思维和抽象思维融为一体了。

用此理论培养学生，就可以适应我前次给您去信提出的问题：如何迎接即将到来的多媒体技术和灵境技术世界。当然讲辩证统一，还靠马克思主义哲学（见附图）。

以上请教。

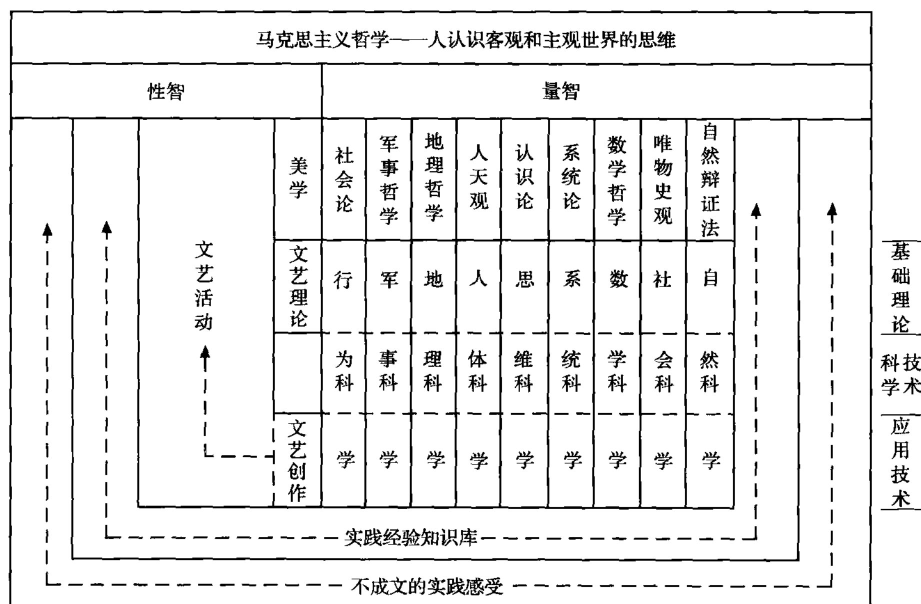
此致

敬礼！

钱学森

1993年7月16日

又附上朱梧槚同我的通信，供参阅。



选自《钱学森书信》第7卷第266～267页，
国防工业出版社，2007年5月第1版。

1993年7月18日致钱学敏

钱学敏教授：

7月13日信收读，因您说这几天您要忙于粉刷居室，所以这封信就付邮了。

关于历史正进入世界社会形态：

一，我不写什么文章，您署名写就行了。

二，还是用世界社会形态为宜，概念重在历史的新阶段；似该用马克思主义的用词。社会形态似乎可以有不同政治制度在内并立；如满清时代，社会形态当然是封建社会形态，但除封建政治制度外，在少数民族地区也有更原始的政治制度。

三，要讲其形成过程，我们现在才进入世界社会形态；19世纪就有世界各地交往，如殖民侵略，但还不是邓小平同志重要谈话和江泽民同志在党的十四大报告中讲的世界。

四，要指出今后一段历史是以世界社会形态培育世界大同，即共产主义。

性智、量智、大成智慧学：

一，有关文章也当然请您写。

二，事物的理解可分为“量”与“质”两个方面。但“量”与“质”又是辩证统一的，有从“量”到“质”的变化和“质”也影响“量”的变化。我们对事物的认识，最后目标是对其整体及内涵都充分理解。“量智”主要是科学技术，是说科学技术总是从局部到整体，从研究量变到质变，“量”非常重要。当然科学技术也重视由量变所引起的质变，所以科学技术也有“性智”，也很重要。大科学家就尤有“性智”。

三，“性智”是从整体感受入手去理解事物，中国古代学者就如此。所以是从整体，从“质”入手去认识世界的。中医理论就如此，从“望、闻、问、切”到“辨证施治”；但最后也有“量”，用药都定量的嘛。

四，我们在这里强调的是整体观，系统观。这是我们能向前走一步的关键。所以是大成智慧学。

五，我个人体会是埋头于细节、埋头于量变是“死心眼儿”，von Karman 教我认识这一点。后来学了点马克思主义哲学才豁然开朗。近年来弄系统科学，真有了点整体观了，才搞了点“性智”。当然，我国老一辈革命家都是兼备“性智”与“量智”的“大成智慧者”。

六，我们正进入第五次产业革命（信息革命）的时代，有全世界的信息网络（通过信息数据库、计算机、全球通信），还有多媒体技术和灵境技术，使人眼界大开。大量信息如大潮，人可不能被淹，要学会在信息大潮中游泳。这是否要求 21 世纪的人要是“大成智慧者”？那就要改造我们的教育制度了。

七，前附知识体系图中，“性智”与“量智”用实线隔开不妥，要加个双向箭头，如附图，以示科学技术与文艺是相通的。

马克思主义哲学——人认识客观和主观世界的思维

性智 ←→ 量智

文艺活动	美学	社会论	军事哲学	地理哲学	人天观	认识论	系统论	数学哲学	唯物史观	自然辩证法	
	文艺理论	行	军	地	人	思	系	数	社	自	基础理论
		为科	事科	理科	体科	维科	统科	学科	会科	然科	技术科学
	文艺创作	学	学	学	学	学	学	学	学	学	应用技术

实践经验知识库

不成文的实践感受

以上妥否？请教。

请代我问俞长彬教授好。

附上《马克思主义与现实》1993 年 1、2 两期，供参阅。

此致

敬礼！

钱学森

1993 年 7 月 18 日

选自《钱学森书信》第 7 卷第 268～271 页，
国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1993 年 8 月 13 日致王寿云

王寿云同志：

8 月 9 日上午我们与马宾老谈时，我就说到我近日一直在阅读薄一波著《若干重大决策与事件回顾》（上、下卷），但心里总有一个难以解答的题目：

为什么掌握了马克思列宁主义毛泽东思想的我国老一代革命领导人，既身体力行地走群众路线、虚心向人民群众学习，又能实事求是地从宏观整体角度分析问题，而决策的结果又有得有失。得到成功的有：

抗美援朝战争；

两弹一星尖端技术。

失误的事情更多，薄老书中都讲了。为什么会如此？

现在我想，上述成功的两例都属矛盾斗争的两个方面情况容易看清看准，或说系统中大因素清楚，决策运筹比较清晰，能看准。而多次失误则都是直接涉及社会这一开放的复杂巨系统，用传统的分析方法，过于简单化了，等于猜测，没有准了。以至陈云同志用“摸着石头过河”来形容。

现在我们在方法论上有了突破，提出：

从定性到定量综合集成法；

从定性到定量综合集成研讨厅体系；

大成智慧工程及大成智慧学；

作为领导决策的咨询机构——总体设计部。

我们从前几年 710 所的初步试用成果可以说：以上这四点不是胡说，是现代科学技术的重要发展。

我以上这些话，对不对？请您和你们几位大将研究。如果还有可取之处，则能否在经过充实完善之后向江总书记反映，作为总体设计部的开场白？

总体设计部是件大事，要有个堂堂正正的开始。

此致

敬礼！

钱学森

1993 年 8 月 13 日

选自《钱学森书信》第 7 卷第 319～320 页，

国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1993 年 12 月 22 日致汪成为

汪成为同志：

附上的材料您是有的，但免得您花时间去找。

我想说的是：

看《与神经网络一道工作》文，使人想，这方面的工作去形象识别和形象思维还远得很，能解决的只是非常简单的问题。如：字母符号的识别，空中俯视雷达地图与目标的对比等。

由于人脑是一个开放的复杂巨系统，“神经网络”这种只用微观考察分析的思路是不够的。还是要同时用形象（直感）思维学的方法从宏观考察分析问题。微观与宏观相结合，大成智慧工程！

以上当否？请教。

此致

敬礼！再恭贺

新年！祝您和祁颂平同志

阖家幸福！

钱学森

1993 年 12 月 22 日

选自《钱学森书信》第 7 卷第 502 页，

国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1994 年 2 月 7 日致戴汝为

戴汝为同志：

我们还是这样用习惯的称呼吧，而现在我们都是中国科学院的院士了。不久还有中国工程院的院士，就缺中国社会科学院的院士了。

2 月 5 日信及三篇文稿都收到。我很欣赏您提出四大科学课题；而这第四个

课题，人的智能，是很有启发意义的。我以前讲大成智慧学和大成智慧工程时，未能像您这样明确清新！

什么是智能科学？什么是大成智慧学？正好我今天给钱学敏同志写了封信讲我对大成智慧学的体会，现附上其复制件请阅。看来，智能、智慧不等于脑科学，它是人思维的综合，所以也不等于抽象（逻辑）思维学、不等于形象（直感）思维学、不等于灵感（顿悟）思维学，而是思维的综合。这就如天文学里有恒星学、行星学、星系学……，但也有综合起来的宇宙学。

以上请酌。即此恭贺

春节！祝您

阖家快乐！

钱学森

1994 年 2 月 7 日

选自《钱学森书信》第 8 卷第 57 页，

国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1994 年 3 月 14 日致戴汝为、钱学敏

戴汝为同志、钱学敏同志：

我近读 *New Scientist* 1994 年 1 月 29 日期 28～31 页讲人的意识的文章，很有启发，故奉上其复制件，请阅。

此文讲国外心理学家又发掘出 30 年代被埋没的苏联心理学家 Lev Vygotsky 的学说，说语言在人意识中的中心作用。我想：意识活动是基于本人及其他人实践活动的，重要的是，不仅仅是本人，还有其他人。这就要交流，交流就要语言。我们几个人在这一阵子提出的大成智慧学是这一思想的进一步发展，把意识提高到思维，包括抽象（逻辑）思维和形象（直感）思维，以及灵感（顿悟）思维，特别是后二者“非理性”思维；我们说人的意识要用语言和符号表达联结起来的知识体系（包括信息网络）来提高，达到“大成智慧”。这是人的第二次飞跃。(文章中讲的 linguistic fault lune 是第一次飞跃)。

我们的任务就是实现这第二次飞跃！

以上当否？请教。

此致

敬礼！

钱学森

1994年3月14日

选自《钱学森书信》第8卷第101页，

国防工业出版社，2007年5月第1版。

1994年3月24日致钱学敏

钱学敏教授：

昨天写的信未回答您提出的问题："大成智慧学"与"整体观"能否联系在一起？昨天我只在您稿子上加了"集大成，得智慧"。今天再多写几句：

"集大成"首先要"集"，这是"整体观"，但要注意，也必须有"集"的对象。这是说单有"整体观"不够，还得有大量零星的素材，即局部细致的研究结果。我们讲从定性到定量综合集成也必须有大量点滴"专家意见"才行。我国古代只有整体观，没有多少素材，所以对客观世界只剩下猜测了，不成为科学。我们的"大成智慧学"是建筑在现代科学技术的基础上的。

还有另一个问题。在1989年《哲学研究》10期的我那篇文字，不只说了宇观、宏观、微观之外的涨观和渺观，也说了决定性与非决定性的辩证统一。这是针对当代热门话题混沌的。它是一个重要论点。您稿似未论及。

此致

敬礼！

钱学森

1994年3月24日

注文：《哲学研究》1989年10期刊载钱学森文《基础科学研究应该接受马克思主义哲学的指导》。

选自《钱学森书信》第8卷第109页，

国防工业出版社，2007年5月第1版。

1994年4月10日致戴汝为

戴汝为同志：

我近日收到《模式识别与人工智能》1994年1期。其中有介绍您为主任的"汕头大学人工智能与模式识别开放实验室"，也有说明"模式识别国家重点实验室、智能机器人视觉开放研究实验室的基金申请办法"。由此我想到一个问题：

这一类研究是我们说的第二个时代的研究课题，而我们现在要开拓的是第三个时代——人机结合的大成智慧工程及大成智慧学。第二个时代的研究当然有用，但目前我们要宣传第三个时代人机结合的研究。换句话说我们要扩大视野，

用人机结合来包括机器的模式识别和人工智能。

您将在中国科学院学部大会与香山会议上的讲话要不要指出这一思想?请酌。

此致

敬礼!

钱学森

1994年4月10日

选自《钱学森书信》第8卷第122页，国防工业出版社，2007年5月第1版。

1994年5月3日致王寿云等

王寿云同志、于景元同志、戴汝为同志、汪成为同志、钱学敏同志、涂元季同志：

我近读《863航天技术通讯》1994年3期1～12页袁生学文《国外空天飞机研究现状》，受到启示。我们的大成智慧学中的从定性到定量综合集成法还可以扩展到高新技术领域。现附上袁文复制件，请参阅并考虑以下问题。

高新技术的设计开发工作也是人—机结合的大成智慧工程。因为：

一，把整个设计开发工作分解为几个局部问题，每一局部问题，如在马赫数8以上的超声速燃烧冲压发动机，如气动力问题，如结构问题，如结构防热问题等等。

二，再把某一局部问题分解为不同时刻的瞬时过程，如超声速燃烧的瞬时实验模拟，用1/100～1/10秒，用两种研究方法：计算机模拟及实验模拟，以验证计算，考核理论。

三，所有局部问题都经过实验证实得到可靠的理论计算方法了，就可以综合了。

四，综合主要用计算机。计算机模拟全机全飞行过程，满意了，再进入全工程的真实实物试运转。这最后一段工作是耗资巨大的，力求一次成功。

袁文中对空天飞机的所谓CFD方法与EFD方法及其结合即此。我们在导弹技术中也早就用过计算机模拟，很成功。我上述高新技术的设计开发工作的方法论只是个必然发展，但这也是人—机结合的大成智慧学与大成智慧工程的应用。大成智慧学与大成智慧工程有了新内容了。

以上请酌，不当之处请指教。

此致

敬礼!

钱学森
1994年5月3日

注文：CFD：computational fluid dynamics，译为“计算流体动力学”。
EFD：engineering flouid dynamics，译为“工程流体动力学”。

选自《钱学森书信》第8卷第138～139页，
国防工业出版社，2007年5月第1版。

1994年10月16日致戴汝为

戴汝为同志：

读了您的《从定性到定量的综合集成法及综合集成研讨厅体系》，也想了想钱学敏同志那几篇文章的内容，觉得集成法和研讨厅的理论根据似是：

一，毛主席的《实践论》。认识源于人的实践，先有感性认识，然后加工综合上升到理性认识。

二，思维学。

三，集体思维，相互促进，所以是社会思维学。我们党总结为民主集中制。

四，对象常常是复杂的，所以要系统学。

五，知识体系的作用很重要，所以是科学技术体系学；大成智慧。

集成法和研讨厅的技术依托为信息技术。

这些话有道理吗？请教。

此致

敬礼！

钱学森
1994年10月16日

选自《钱学森书信》第8卷第406页，
国防工业出版社，2007年5月第1版。

1995年2月9日致戴汝为

戴汝为同志：

我非常高兴地读了您春节的来信！春天到了，思维科学也有了新的启示了！

核心问题还是人机结合，这大概永远是如此。人脑也会因有了先进的信息系统而变得更聪明，人与机互相促进。人工智能过去的缺点就在于此，以为机可以完全代替人。

但人，不论中国人还是洋人，有了教训终会领悟的，您信中说的 H. Cohen、

M. Minsky、D. Partridge 和 J. Rowe 的发展，就是看到僵化的计算机程序不能达到要求，所以引入灵活性。但我想向什么方向“灵活”？到时还是靠使用这系统的人吧。所以还是人机结合。这是用我们的观点看问题，解决他们的工作思想。

当然，人也会使机器不断进步，越来越智能化，那就会解除人机结合中人的一些工作任务，让人解放出来做更难做的事。那也会使人脑更上一层楼！

我想这就是我们用大成智慧学的观点，也就是用马克思主义哲学论外国人的工作。我们要了解他们的工作，吸取其精华，用我们的智慧加以发展光大。学外国人是为了比他们干得更好。

以上您以为如何？请教。

此致

敬礼！

钱学森

1995 年 2 月 9 日

搜查文献中有用的东西要靠一个集体，单干不行。

选自《钱学森书信》第 9 卷第 64～65 页，

国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1995 年 2 月 15 日致戴汝为、汪成为、钱学敏

戴汝为同志、汪成为同志、钱学敏同志：

戴汝为同志 2 月 13 日给我来信并附来他写的《形象（直感）思维与灵感（顿悟）思维》，现将此文复制请汪成为同志和钱学敏同志阅并讨论。戴汝为同志在信中还告他现有一位硕士生王鲁民在弄计算机下围棋，着重考虑棋局开始时的“布局”宏观问题。他的另一位博士生李明敬在搞对特定人手写汉字识别。我想：这种特定计算机程序多了，我们就可以综合，人仍是主宰，但大大节省脑力，也可以大大拓广视野。那将是人机结合的形象（直感）思维和灵感（顿悟）思维了。此见当否？请教。

在奉上一复制件是美国的“2061”计划，是美国一些权威学者们设想的，到 2061 年哈雷彗星再来前的美国教育改革。我从前也在文章中提过这一发达国家的教育现代化计划。但到 2061 年，那正是我们说的现代中国第三次社会革命，那我们讨论过的教育改革比起美国的“2061 计划”在下列两点上要比他们好：

一，我们强调了哲学、马克思主义哲学的主导地位；并有性智、量智并重。

二，我们也因此重视在教育中的文艺修养，文、理、工、艺并重。

一句话：大成智慧教育要胜过“2061 计划”。

此见当否？也请教。

此致

敬礼！

钱学森

1995年2月15日

注文："性智、量智"是我国哲学家熊十力先生提出的。他认为人的智慧有两个方面：文化、艺术方面的智慧叫"性智"；科学方面的智慧叫"量智"。

选自《钱学森书信》第9卷第72～73页，
国防工业出版社，2007年5月第1版。

1995年4月20日致戴汝为

戴汝为同志：

我很兴奋地读了您4月16日来信。

人民中国不但有吴文俊院士，而且还有张景中教授（将即成为张景中院士！）真大好事也！

而您和您的学生郝红卫又对人机结合的数码（手写）汉字识别系统有了突破！这一工作是您和您的学生在十年前的系统又一发展；那次是一次性系统，因而有些局限性，现在不同了，系统是不断学习适应手写人的！这打破了死机器的缺点！成了活的了，"大成智慧"！

我想这对形象思维的研究会有启发。形象思维不就是由人感受到的形象去搜索存贮于大脑中的形象库，求能对号的形象吗？这不也是从一个新的"手写"的，去对一个已知的吗？当然也要用人机结合的网络集成！大有希望，可喜可贺！这一旦成功，大脑中形象库就大大扩展为计算机网络中的信息库，存量成百上千倍地增长，形象思维能力上升了，人机结合到"大成智慧"！

此议当否？请教。

此致

敬礼！

钱学森

1995年4月20日

又："神经网络"一词在我们工作中能不能用"信息网络"一词？是信息通道，不是真的神经嘛。

选自《钱学森书信》第9卷第177～178页，
国防工业出版社，2007年5月第1版。

1995 年 6 月 11 日致戴汝为

戴汝为同志：

读了您 6 月 8 日信讲 embedding，我想这还不是“泛化”。“泛化”是把已知的某一认识，一下子用到更大或更小时空的还未认识的事物。我在 6 月 5 日给您信尾举的例子是从太阳系运动“泛化”到原子结构，到星系，再到星系团。而 embedding“嵌入”则是把对事物的研究扩展到其周围。

“嵌入”法我过去也常用。如求 $\int_{-\infty}^{\infty} f(x)\mathrm{d}x$，感到为难，就把 x“嵌入”复变数 $x+\mathrm{i}y=z$，把 x 轴“嵌入”z 平面，考虑 $\int f(z)\mathrm{d}z$，把积分路径选为沿 x 轴从 $-\infty$ 到 $+\infty$，再加一个从 $+\infty$ 到 $-\infty$ 的大半圆，成为闭路，这样按复变函数理论，整个回路积分应等于回路中的 pole 的值之和。而 $\int f(\mathrm{CE})\mathrm{d}z$ 循大半圆从 $+\infty$ 到 $-\infty$ 又常常是零，那 $\int_{-\infty}^{\infty} f(x)\mathrm{d}x$ 就等于 pole 值之和了。这一方法我多次应用，很成功。“嵌入”也是扩大思索的范围，但没有跳到不同层次的问题。

“泛化”是跳到不同层次的问题。

另一件事。附上 *Scientific American* 今年 6 月号文的复制件，是讲 Santa Fe Institute 搞 complexity 的困惑。我看他们没有理解开放的复杂巨系统！开放的复杂巨系统是无法从微观用电子计算机模拟的——没有那么大的电子计算机！这帮人也忘了 Gell Mann 讲过的要珍视人们宏观的猜测。我们的 metasynthesis 是组织宏观整体的观察，把人们感觉到的规律用严密的定量系统结合起来。而人们又是怎么感觉的呢？这里“泛化”思维作为一种形象思维起了作用。所以“泛化”是大成智慧的组成部分。“泛化”是大跨度的跳跃，不是“嵌入”。

以上请酌。

此致

敬礼！

钱学森

1995 年 6 月 11 日

注文：所附复制件是 John Horgan 的 From Compliexity to Perplexity 一文，刊载于 *Scientific American* 杂志 1995 年 6 月刊。

Gell-Mann：Murray Gell-Mann，默里·盖尔曼（1929～），美国物理学家，1969 年因对基本粒子的分类及其相互作用的发现而获得诺贝尔物理学奖，同时也是美国圣塔菲研究所和复杂性科学研究的创始人。

选自《钱学森书信》第 9 卷第 248～250 页，

国防工业出版社，2007 年 5 月第 1 版。

1995 年 6 月 21 日致戴汝为

戴汝为同志：

您 6 月 18 日来信讲了许多重要认识论和思维学的问题，我经过一番思考，现在有以下几点想法，向您谈谈。

一，“大彻大悟”只能是人类认识客观世界的最终目标，是最高理想；但对任何一个具体的人来说，这最终胜境是达不到的！当然随着科学技术的进步，会促进这个过程。如信息网络、如我们的大成智慧学和大成智慧工程，都会大大加速这个过程，但也只是快一点而已。我们不是唯心主义者！

二，从实践感知到感性认识是就事论事的经验总结，其中思维过程比较简单。难在从感性认识到理性认识这个飞跃。这是感性认识的规律要嵌入理论体系。这一步要选出可以嵌入的已知理论体系，如果都不合适，那就要修改已有的理论体系了。这一步比较难，逻辑思维当然要用，要验证嘛，但重在找路子，所以泛化就很有用了。

总之，我们是辩证唯物主义者，一方面要解放思想，看到光明，今人要胜过古人；另一方面又千万不可超出现实！请酌。

此致

敬礼！

钱学森

1995 年 6 月 21 日

选自戴汝为著：《社会智能科学》第 238 页，上海交通大学出版社 2007 年 1 月第 1 版。

1996 年 3 月 3 日致汪成为

汪成为同志：

我在周末读了您在中国工程院第二次院士大会上的报告：《为实现和谐的人机环境开展灵境系统的研究》，感触很深。我提的“大成智慧”只是人机结合的初级阶段，因为人、机还没有真正合一，只是结合互补而已。这大概会持续到 21 世纪中叶。而从灵境系统开始的这种结合则是融合，是把人“神化”了，成为“超人”！“超人”的感受可以大到宇宙、小到微观，成“仙”！这真是人类历史的一次大革命，就如人类有了语言、文字！这将是 21 世纪后半叶的事。

我这一思想是胡说吗？请教。

此致

敬礼！

钱学森

1996年3月3日

选自王寿云等：《开放的复杂巨系统》第303～304页，

浙江科学技术出版社1996年12月第1版。

1996年3月10日致戴汝为

戴汝为同志：

于景元同志遵马宾老之嘱，将马老的《＜人工智能与人类社会＞读后》转给我；我读后认为此文也同我们一样，强调人机结合的观点，故奉上请阅。

近日来，我们的思想似又有点发展，即："机"不是代替人，而是协助人，是人机结合，而人机结合又分两个阶段：

一，目前的信息革命会导致人机结合的第一阶段；

二，灵境技术的发展将导致人机结合的感受，是更高层次的结合，也是人机结合的第二阶段，这是马老文还未论及的。

我们能不能设想：第一阶段在我国于2010年实现？这也是进入发达时代所需要的。

以上当否？请指教。

蒋英和我也向瑞令同志问好。

此致

敬礼！

钱学森

1996年3月10日

选自《钱学森书信》第9卷第511～512页，

国防工业出版社，2007年5月第1版。

1998年3月8日致戴汝为

戴汝为同志：

您在今年写给我的三封信（1月5日、2月22日、3月1日）早收到，因我从2月24日到3月4日住进301医院作例行体检，所以复迟了，请恕！体检很顺利，都通过了，所以也请释念！

一，传统的人工智能没有认识到人体和人脑都是开放的复杂巨系统，所以把计算机能做的事太夸大了。我们的想法是实事求是，要充分发挥人思维和信息网络的各自优势，要把二者结合成大成智慧。因此我赞成您 2 月 22 日信中的意见。

二，3 月 3 日信提到的那位 E. Rechtion，因我从 1946 年到 1949 年在 MIT 工作，所以记不起这位先生了。

此致

敬礼！

钱学森

1998 年 3 月 8 日

选自戴汝为著：《社会智能科学》第 251 页，
上海交通大学出版社 2007 年 1 月第 1 版。

第三篇　钱学森思维科学思想的探索

第十二章　思维(认知)科学在中国的创新与发展[①]

钱学森先生，除了是人们熟知的“两弹一星”元勋外，在构建现代科学技术体系，完善系统科学、创建思维（认知）科学、人体科学等领域也作出了重大的贡献。

现代科学技术体系结构从哲学的高度，涵盖了自然科学、社会科学、数学科学、系统科学、思维科学等科学技术部门，显示出它们之间普遍联系、互相促进、完整一体的关系，体现了从工程技术、科学、哲学的不同层次的多学科、跨领域之间的交叉融合。只有像钱先生这样拥有渊博的知识和广泛的兴趣爱好，对科学研究有扎实功底和深厚造诣，同时又具备“两弹一星”的雄厚的工程实践和组织管理经验，才能高度概括时代的科学技术发展。他在系统科学领域的三个层次都作出了巨大贡献，前瞻性地提出开放的复杂巨系统及其方法论，在复杂性科学成为新世纪面临的主要问题和研究热点中走在国际的前列。更重要的是，他始终关注与实践密切结合的可操作性，面对当前科技与人文交融，自然与社会面临发展，他在系统科学、思维（认知）科学、复杂性科学的交叉融合基础上，创造性地提出了“从定性到定量的综合集成法”，成为解决这一类问题的科学方法论。

本章介绍钱学森先生在中国开创思维（认知）科学的发展历程及其主要学术思想，概述了思维学、思维系统工程的研究，分析了形象思维、社会思维在思维（认知）科学研究中的重要作用，最后探讨了思维科学与认知科学研究的互相关联，并对它们的共同发展进行了展望。

12.1　开展思维（认知）科学研究是信息时代的要求

追溯历史，“思维科学”这一概念最早是由叶青在1931年的一篇题为《科学与哲学》的文章中提出。他把自然、社会和思维三种现象放在同一层面上进行了严格的界定，指出自然、社会和思维的根本区别在于“自然现象是不经过人的行为就已经存在的，社会现象是要经过人的行为才能够存在的，思维现象是未经过人的行为的因而未外化成事实的观念作用和观念形态”。所以从研究对象来看，自然科学、社会科学和思维科学有本质的区别。作为人的观念作用与观念形态的

① 国家重点基础研究发展计划（973计划）（2007CB311007）资助。

思维现象，与自然现象和社会现象相比，是“未经过人的行为”，因而也就成了“未外化成事实”的存在了。他认为，思维科学不仅有自己明确的研究对象，而且不久将会与自然科学、社会科学鼎足而立。

恩格斯曾说：“每一个时代的理论思维，都是一种历史的产物，它在不同的时代具有完全不同的形式，同时具有完全不同的内容。因此，关于思维的科学，也和其他各门科学一样，是一种历史的科学，关于人的思维的历史发展的科学。”那么，我们当前时代的理论思维，关于思维的科学又是什么呢？20 世纪 80 年代，钱学森开创思维（认知）科学的研究正是对此问题作出的回答。

思维科学是处理意识与大脑、精神与物质、主观与客观的科学，是现代科学技术体系中与自然科学、社会科学等平行的一大科学部门，其产生、发展和研究的推动力与计算机技术、信息技术、人工智能的飞速发展密切相关。20 世纪 70 年代，日本提出了模式信息处理系统计划（pattern information processing system project，PIPSP），其核心是发展语音、文字、图像等模式识别技术，解决计算机与人类活动的环境直接通信的问题。到 20 世纪 80 年代，日本进一步提出了知识信息处理系统计划（knowledge information processing system project，KIPSP），或称为“第五代计算机”计划，声称要把日本的知识信息系统推向世界，进行一场人工智能对世界的挑战。由于计算机是关键的信息核心技术，一时间各国都重视，美国随后制订了高性能计算机计划，我国也在 863 计划的信息领域中设定了智能计算机项目（即 306 主题），并成立了相关专家组。当时提出要进行思维（认知）科学研究，正是与人工智能、智能计算机、模式识别技术等的进展有直接关系，是要为这些科学技术建立理论基础。

12.2 早期国内对思维学的研究

钱学森提倡开展思维（认知）科学的研究与他年轻时在麻省理工学院（Massachusetts Institute of Technology，MIT）和加州理工学院（California Institute of Technology，CIT）学习工作经历有很大的关系。他在 1991 年 4 月做“关于人机智能系统”的谈话时认为，MIT 在 20 世纪 60 年代的贡献是培养出一批工程师，在技术科学和工程之间搭了一座桥梁，所以后来全世界都学 MIT。而 CIT 的贡献则是在 20 世纪 20 年代培养出一批工程师加科学家的人才，比 MIT 培养的人高明一些。此外，他发现发达国家中成功的科学研究中心，都有所谓讨论班（seminar），他在 CIT 也有幸参加过这种活动，印象很深。后来，他回顾自己最幸福的时刻：一是在美国 Pasadena 参加导师卡门（Karman）主持的讨论班；二是 20 世纪 60 年代末在北京人民大会堂参加周恩来总理主持的“中央专家委员会”会议[1]。究其原因，都是高度民主的气氛，不管与会者的身份、地

位，大家一起畅所欲言参与讨论，所以思想活泼。1984 年他推动召开了全国思维科学讨论会，提出思维科学研究的重要性，随后在国内组织了系统学、思维科学、人体科学三个讨论班，以这一形式积极推动三门学科的交叉研究和发展，并先后发表了数篇重要论文和讲话[2~5]。

思维（认知）科学的基础科学是思维学，主要研究人有意识思维的规律，它又可细分为抽象（逻辑）思维学、形象（直感）思维学和创造思维学三个组成部分。其中，创造思维是智慧的源泉，抽象（逻辑）思维和形象（直感）思维都是实现手段。思维学中目前只有抽象（逻辑）思维研究较为深入，已经有比较成熟的逻辑学，而形象（直感）思维和创造思维研究工作相对较少，还缺乏科学的归纳。

创造思维是实现创新的内在机制和深层动力，贯穿了创新过程的多个层面。胡锦涛主席在《坚持走中国特色自主创新道路，为建设创新型国家而努力奋斗》一文中强调“自主创新能力是国家竞争力的核心”。因此，我们应当加大力度研究创造思维，这对未来提高我国自主创新能力和提升创新意识，有深刻的理论意义和重大的实践价值。

除了思维学之外，钱学森还将信息的研究列入思维的工作对象。信息是人为了认识事物的需要，从物质运动概括出来的。对于信息的研究最早是从通讯技术入手的。美国科学家香农（Shannon）在 20 世纪 40 年代提出通信信道中信息传递理论，开始有了对信息的准确计量。后来信息的研究受到控制论的影响，形成了信息论。由于信息是接受者必须知道如何提取，它才存在。因此，研究信息和信息过程的学问——信息学，成为了思维（认知）科学中另一门基础科学。

12.3　形象（直感）思维是思维（认知）科学的突破口

思维（认知）科学研究的突破口在于形象（直感）思维，这是钱学森在斯佩里（Sperry）“开发右脑”学说的基础上，于 1984 年的全国思维科学讨论大会上提出的。斯佩里是加州理工学院教授、神经心理学家。1954 年他证明了大脑两半球的功能具有显著差异，提出了两个脑的概念，并荣获了 1981 年诺贝尔生理学或医学奖。作为 20 世纪 50 年代同在 CIT 工作的同事，研究兴趣广泛的钱学森受到了斯佩里研究的启发，在那时开始思考人的思维问题。这一思考脉络一直延伸到 20 世纪 80 年代，他在国内正式提倡开展思维（认知）科学的研究。应当说，斯佩里的工作，特别是以形象思维作为主要思维方式的右脑的发现，给了钱学森很大的启示。他在 1986 年 9 月给作者之一的信中指出：“思维科学的研究，我仍然以为其突破口在于形象思维学的建立，而这也是人工智能、智能机的核心问题。因此，这也是高技术或尖端科学技术的一个重点。我们一定要抓住它不

放，以此带动整个思维科学的研究。”

此外，我国哲学家的一些观点对认识形象思维也有帮助。熊十力将人的智慧称为心智，心智又分成两部分，一部分叫“性智”，另一部分叫“量智”。“量智”是通过对问题的分析、计算，通过科学的训练而形成的智慧。人们对理论的掌握与推导、用系统的方法解决问题的能力都属于量智，是抽象（逻辑）思维的体现。“性智”是一个人把握全局，定性进行预测、判断的能力，是通过人脑的信息处理获得的那种直感，是形象（直感）思维的结果，人们对艺术、音乐、绘画等方面的创作与鉴赏能力等都是形象（直感）思维的体现。钱学森在熊十力的观点基础上，进一步指出：“性智”又可分两层，低一层次是以形象为基本的，可以称为“象智”，高层的才是“性智”，如图 12-1 所示[6]。

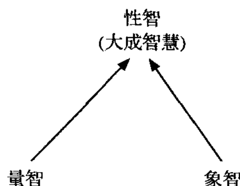


图 12-1　量智、象智和性智的关系

形象（直感）思维是比较难以研究的，但是开展形象（直感）思维的研究可以使模式识别（patternrecognition）得到突破性的发展[7]。cognitive science 被称为认知科学。认知是 cognitive，识别是 recognition，所以心理学界一部分学者也称识别为再认知。人进行模式识别的过程是形象（直感）思维的主要内容之一[8]，在认知过程中，人首先建立一种心理意象，当再看见这个东西，两者能匹配，就再认了。这是最简单的思想。这种匹配可以从研究思维得到启发：它是那么灵活，怎么能够通过机器实现？机器做起来很死板，只有通过抽取特征。这种模式有什么特征，抽取出来，由特征构成一个简要的模式，这样进行匹配。

在探讨形象思维的过程中，钱学森与作者之一曾以“对联”为研究对象，做过一些相关研究工作。“对联”是中华民族独创的一种文学形式，钱学森认为“对联”与人的形象思维有关，他指出：“从思维学角度看，对联的过程是：出联的上联是给出一个结构，请应联的下联人按此给定结构去找零件，字、词填入这个结构，思维就在于搜索思想库找材料。这就是对联答对联的思维学——搜索入结构。”[9]他认为形象（直感）思维与答对联正好相反，有材料，但无结构。思维的任务是找形象，即结构。因此，他指出应当利用好中国几千年的古老文学作品，从思维学的角度去研究。

12.4　对思维（认知）科学的重新界定及扬起一面旗帜

思维（认知）科学到底研究哪些内容？钱学森指出应当分清什么是人体科学，什么是思维科学。他认为感觉和知觉都是人体科学中神经心理学要研究的领域；而更上一层的所谓感受则是精神学的研究领域；“只处理所获得的信息，那才是思维学的研究课题。”[10]

对于信息来说，有信息的采集、信息的传输、信息的处理、信息的存储等等环节。思维学只考虑信息处理，其他都属于人体科学的范畴。在处理的方式上，他认为“处理可以只是人干，也可人机结合。”而进一步伴随着 Internet 的普及，cyberspace（数字空间或信息空间）越来越融入到人们的工作和生活中，他认为 cyberspace “是人机结合的思维思想活动世界，似可称为‘智慧大世界’，简称‘智界’。”[11]

1987 年，图灵奖获得者、认知科学大师司马贺（Simon）教授到中国讲学时，曾于 6 月 24 日给钱学森写过一封信，通过中国科学院心理所所长荆其诚转交给钱学森。信中谈到：“我所熟悉的大多数认知科学家对于超越感观①感知（extra sensory perception，ESP）认为是不可知的，但是对有些情况，像所有不可知那样，经过长时期，通过证据加以解决，我了解您本人的兴趣在于创造思维以及形象思维，这两个题目也是近年来我自己进行的中心研究问题。”在信的最后，他提出希望在认知科学方面，在中国及国际方面飘扬起独一面旗帜。随信还附赠一本由科学出版社出版的他的专著《人类的认知——思维的信息加工理论》。不过，由于当时钱学森还在国防科学技术工业委员会工作，不方便与司马贺会面，两人遗憾地擦肩而过。但是，钱对这封信很重视，将信转给作者之一，使作者有机会从二位大师的观点学习获益，从中汲取营养，得到启发，应用于认知科学领域的研究工作中。

12.5　思维的系统观与思维系统工程

众所周知，钱学森在多个学科的开创与发展中作出了突出贡献，并且在研究工作中始终体现学科交叉的思想。系统科学是他的另一项代表性工作，按照科学技术体系的三个层次划分：工程应用层次，具有代表性的各种系统工程；技术科学层次，其《工程控制论》是国际上享有盛誉的经典著作[12]；基础理论层次，具有里程碑意义的代表作是《创建系统学》一书[13]，书中提出了开放的复杂巨

① 此“观”字应为“官”字，“Sensory”也是“感官”之意。——编者

系统及处理这类问题的方法论——以人为主、人机结合、从定性到定量的综合集成法[14]。并从学科交叉与融合的角度指出，“从定性到定量的综合集成研讨厅体系”处于思维（认知）科学的工程应用层次，创立并发展它，将为思维（认知）科学的技术科学层次和基础科学层次（思维学）提供营养。

他进一步提出思维的系统观[15]：“以逻辑单元思维过程为微观基础，逐步构成单一思维类型的一阶思维系统；解决课题的二阶思维开放大系统；然后是决策咨询高阶思维开放巨系统。这就是思维的系统观，是系统科学方法在思维科学中的应用。”[16]即从思维的类型看，要解决一个课题，即使是比较简单的课题，单靠一种思维系统如抽象思维是不够的，至少要用形象（直感）思维与抽象（逻辑）思维的配合。所以解决一个课题的思维是更高层次的二阶思维系统；从思维的过程看，要能解决一个课题必须依靠各种知识和信息，而且要在思维过程中不断提供知识和信息，所以用系统科学的术语来表达，上述系统属于开放系统的范畴。至于咨询和决策工作，要解决的、要作出回答的问题更不是单一的课题，而是课题群，并且是有相互关联的课题群。参与问题研究的也不是一个人、两个人，而是一个专家集体，有几十甚至更多的人。这种思维过程必然非常复杂，其规模比思维大系统还要大，用系统科学术语来说，就是思维巨系统，也就是更高阶次的思维系统。建立和开动这样的开放思维巨系统，就是思维系统工程。思维系统工程的目的是实现社会思维，涌现群体智慧。20 多年来，思维（认知）科学进一步结合人工智能、计算机科学和复杂性科学的研究成果，综合成为人机结合的智能科学的研究，在国内外开展起来。[17~21]

12.6　社会思维与群体智慧

社会思维是指人作为社会整体对客观现实的认识，它是在整个社会时间、社会关系的基础上，无数个人思维和各种群体思维交互作用、多元复合的观念体系。从思维主体范围的角度来看，社会思维包括个人思维和群体思维。群体思维是以若干思维个体组成的群体作为思维主体形成系统的特有功能，从而产生单个个体所不能达到的整体思维能力。钱学森认为：“社会思维是多个大脑在信息网的联通下，形成比单个大脑更复杂、更高层次的思维体系。如果说形象（直感）思维是并行多线交联思维，那社会思维更是如此。”[22]因此可以说，群体思维是在个体思维差异之合理配合的基础上，充分发挥各自优势，通过思维互补形成总体思维功能的思维方式。它能够综合个别主体之长，弥补个别主体之短，它既能形成一种个别主体所没有的新的认识能力[23]，又能使群体中诸个体的认识能力得以扩大。如此反复促进，就形成了整体智慧，它给我们带来了新的扩大了的认识能力。

社会思维学正是一门研究人作为集体来思维的规律及其与集体思维的相互关系、相互作用的科学。钱学森在倡议建立思维（认知）科学的过程中指出："社会思维学要研究人作为一个集体来思维的规律以及它与集体的相互关系、相互影响。在思维科学中的基础科学里，也研究集体和集体创造出来的精神财富对于一个人思维的作用。那么，反过来说，个人生活在社会里，它对于社会的集体也有作用、也有贡献。因此，我们要研究个人跟集体和集体创造精神财富在思维方面的相互作用"。当群体处于这样的思维状态下，就会使思维能力大大提高，从而发挥其前所未有的水平，使思维的结果实现跨越，涌现出群体智慧，而实现这种群体智慧有赖于综合集成的科学。他把社会思维学融入到从定性到定量的综合集成法，并进一步在系统科学、思维（认知）科学、人体科学的研究与实践的基础上，发展为"以人为主、人机结合、从定性到定量的综合集成研讨厅体系"[24]，充分体现了人机结合的思想，综合了信息空间中的群体智慧[25]。

12.7　思维科学与认知科学的关系

在中国，钱学森作为思维科学的倡导者，与认知科学的研究者不同，他具有控制论和系统论的理论背景，在科学相关知识上功底扎实、造诣深厚，又同时具备"两弹一星"的工程实践经验，这使得他所倡导的思维科学较之认知科学在层次上更加广泛，更时刻关注与实践密切结合的工程可操作性。他最初曾建议思维科学的英文译为 cognitive science[4]，并在 1983 年 6 月给作者之一的信中说："国外的 cognitive science 的确比我们的思维科学窄，但我想来想去，还是用这个词，但扩大其内含变成我们的思维科学。"后来，考虑到这样做容易产生混淆，1986 年他指出："思维科学是非常重要的，似应译为 noetic sciences，是处理意识与大脑、精神与物质、主观与客观的马克思主义科学。"[26]他这样做不是没有理由的，因为尽管思维科学和认知科学有许多共同之处，但它们之间的差异也是不容忽视的。与认知科学相比较，思维科学不仅是一个学科群，而且还是一个与自然科学和社会科学平行的科学技术大部门，它具有以下三个有别于认知科学的特点：[27]

一，思维科学内部划分为三个层次：基础科学、技术科学和工程应用，并以认识论为桥梁与哲学相联系。

二，就所包含的已有学科或学科分支而言，思维科学与认知科学也不尽相同。特别值得注意的是，心理学和脑神经学被排除于思维科学之外，这是从当前科学技术水平出发，立足于建立中国自己具有实践意义的现代科学技术体系来考虑。这样，可以将更多的工程技术列入思维科学中来。换言之，钱学森更倾向于思维科学的实践和应用，而不是在哲理思辨以及广无止境的探索中漫游。

三，思维科学还预言了有待建立的新学科——作为基础科学的形象（直感）思维学；作为智慧的涌现的创造思维学；作为体现群体智慧的社会思维学以及在人工智能的研究的基础上建立人机结合、以人为主的智能科学等等。他在1988年1月给作者之一的信中谈到思维学、思维工程以及指导思维工程的技术科学——思维系统学三者之间的关系，如图12-2所示。

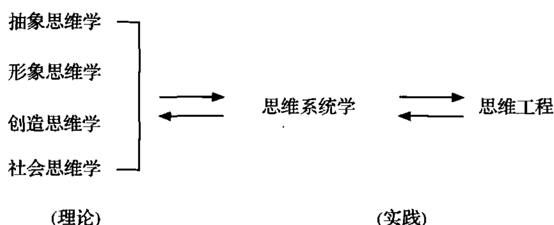


图12-2　思维学、思维系统学、思维工程之间的关系

上面第三个特点是非常重要的，因为对既有学科做新的划分，只属于现代科学技术体系学的“现象学研究”；找出那些有重要任务，但现在还没有人做的学问，则跨入了研究一个学科的“动力学”的疆域，这往往预示着一个新的研究领域的诞生。第三个特点为实现“如何去提高人的思维能力”这一根本目标指明了方向，为相关新学科的建立奠定了基础。与此同时，认知科学也在不断向前发展。20世纪70年代，司马贺曾将其归纳为：认知科学＝认知心理学＋人工智能[28]。1993年美国科学基金委员会在华盛顿组织了一次有30个大学约100位专家参加的认知科学教育会议，会上对于认知科学有一致的看法：认知科学是研究人的智能（intelligence）、其他动物的智能及人造系统的智能的科学。研究内容包括：感知、学习、记忆、知识、语义、推理、语言、注意、意识及思维等。由于这门科学具有多学科交叉的性质，人们从心理学、计算机科学、神经科学、数学、语言学、哲学等不同的领域进行有关的研究。不难看出从研究“人的智能”方面，认知科学和思维科学有其互通之处。认知科学将“人的思维”作为人工智能和机器智能的理论基础；而思维科学是要为人工智能、智能计算机、模式识别技术等建立理论基础。两者在研究内容和目标上，可以说殊途同归。

回顾思维科学和认知科学发展史，它们有众多的互通之处，例如：思维科学的思维分类对认知科学的研究起到了推动作用；认知科学对人类思维建模曾有许多借鉴和发展。在今后科学研究的道路上，两者同样可以互为参详、相得益彰。思维科学和认知科学的进展，都要充分利用现代新技术手段。例如，思维科学关于创造性的社会思维涌现需要在万维网和“灵境”技术及多种软件支持下才能完成；认知心理学新理论的建立，像“自适应神经系统”需要在脑神经全景上“映图”和“定位”。我们从历史和发展中得到启示，有理由相信思维科学和认知科

学在人类智能研究，在后信息时代的人类自身发展和完善的漫长征途上会携手前进，经过科学的碰撞思维科学和认知科学飘扬起独一面旗帜！

戴汝为　张雷鸣

选自《自动化学报》2010年2月第36卷第2期。

参考文献与注释

[1] 钱学森致戴汝为信件，1993年4月10日．见：戴汝为社会智能科学．上海：上海交通大学出版社，2007.

[2] 钱学森．系统科学、思维科学与人体科学．自然杂志，1981，4（1）：3-9，80.

[3] 钱学森．关于思维科学．上海：上海人民出版社，1986.

[4] 钱学森．自然辩证法、思维科学和人的潜力．哲学研究，1980，(4)：7-13，31.

[5] 钱学森．关于思维科学．自然杂志，1983，6（8）：563-567，572-640.

[6] 钱学森致戴汝为信件，1993年1月25日．见：钱学森书信 [7]．北京：国防工业出版社，2007：90.

[7] 戴汝为．模式识别与形象思维学，关于思维科学．上海：上海人民出版社，1986.

[8] 戴汝为．形象（直感）思维与人机结合的模式识别．信息与控制，1994，23（2）：76-79，118.

[9] 钱学森致戴汝为信件，1994年9月18日．见：科学的艺术与艺术的科学．北京：人民文学出版社，1994.

[10] 钱学森致戴汝为信件，1995年3月16日．见：钱学森书信（9）．北京：国防工业出版社，2007：132.

[11] 钱学森致戴汝为信件，1995年2月2日．见：戴汝为．社会智能科学．上海：上海交通大学出版社，2007.

[12] 钱学森．工程控制论（新世纪版）．上海：上海交通大学出版社，2007.

[13] 钱学森．创建系统学（新世纪版）．上海：上海交通大学出版社，2007.

[14] 钱学森，于景元，戴汝为．一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论．自然杂志，1990，13（1）：3-10，64.

[15] 戴汝为．钱学森对系统科学思维科学的重大贡献．见：钱学森科学贡献暨学术思想研讨会论文集．北京：中国科学技术出版社，2001：54-58.

[16] 戴汝为．社会智能科学．上海：上海交通大学出版社，2007：14.

[17] 戴汝为．社会智能科学．上海：上海交通大学出版社，2007：20.

[18] 操龙兵，戴汝为．开放复杂智能系统．北京：人民邮电出版社，2008.

[19] Cao L B，Dai R W，Zhou M C. Metasynthesis：M-space，M-interaction，and M-computing for open complex giant sys-tems. IEEE Transactions on Systems，Man，and Cybernet-ics，Part A：Systems and Humans，2009，39（5）：1007-1021.

[20] 尹红风，戴汝为．论思维及模拟智能．计算机研究与发展，1990，27（4）：1-15.

[21] Dai R W. Man-computer cooperated intelligent science andintelligent technology. Engineering Sciences，2005，3（3）：13-18.

[22] 钱学森致戴汝为信件，1987年8月3日．见：钱学森书信（4）．北京：国防工业出版社，2007：3.

[23] 赵光武．思维科学研究．北京：中国人民大学出版社，1999.

[24] 戴汝为，李耀东．基于综合集成的研讨厅体系与系统复杂性．复杂系统与复杂性科学，2004，1（4）：1-24.

[25] 戴汝为．支持科学决策和咨询的技术——思维系统工程．中国工程科学，2005，7（1）：17-20.
[26] 钱学森致戴汝为信件，1986 年 5 月 28 日．见：钱学森书信（3）．北京：国防工业出版社，2007：141.
[27] 张铁声．相似，同构，认知．南京：江苏科学技术出版社，1995.
[28] 戴汝为．认知科学进展．中国科学基金，1997，11（1）：5-9

第十三章　关于思维科学基础科学的探索

13.1　非线性思维初探

在钱学森先生倡导、推动和带领下，思维科学在我国曾经有过一段辉煌岁月，学术活动频频，研究成果累累。但近年来鲜有令人瞩目的进展，思维科学总体上似乎陷入停顿。其原因是多方面的。仅就学术层面看，愚意以为主要原因是我国目前的思维科学研究与现代科学前沿缺少联系，方法陈旧，对本学科的难点和发展道路的认识不准确。思维是大脑神经网络这个复杂非线性系统的动力学过程，必须引进复杂非线性系统的动力学理论和方法才能给以深入的阐释。“认为甚至我们的意识也受复杂系统非线性动力学所支配这种思想，已成为当代科学和公众兴趣中最激动人心的课题之一。”[1]从国外同行的动向看，思维研究的突破口或许应在这里。退一步讲，即使算不上突破口，运用复杂非线性系统的动力学理论和方法研究思维运动，必定能够获得令人鼓舞的成果，似应大力提倡。

13.1.1　线性系统与非线性系统

线性与非线性是两个数学概念，用以区分不同变量之间的两种性质不同的关系。一个系统一般都有许多相互依赖的变量，如输入量、输出量和状态量，而且它们都可能不止一个。这些变量之间的关系决定系统的行为特性。线性系统的基本特点是，一个量的变化总是引起其他量按照固定的比例改变。非线性系统的基本特点是，不同量之间的变化不成比例关系，一个量的微小变化可能导致其他量的巨大甚至于灾难性的变化。从所用模型看，能够用线性模型描述的是线性系统；否则，是非线性系统。

通俗点说，线性的特点是单一、均匀、不变，单一的方向，均匀地分布，不变的速度，等等，一切都随着初始条件的给定而给定。线性系统没有创新，没有意外，一切都是确定的和可预见的。非线性系统恰好相反，多变的方向，非均匀的分布，可变的速度，等等，因而具有种种内在的不确定性、永恒的新颖性和不可预料性。作为思维对象的现实系统，不论线性的还是非线性的，都有静态的与动态的两类。系统科学主要研究动态系统，线性动态系统与非线性动态系统是最常用的分类概念。用非线性动力学原理和方法研究思维运动，必须熟悉线性动态系统与非线性动态系统的基本特征，以便查明传统科学如何把非线性动态系统误

认为线性动态系统，在应当运用非线性思维的地方误用了线性思维。为此，我们把迄今为止系统科学已经认识的这两类系统的基本特征列于表 13-1，对照陈述如下。

表 13-1

线性动态系统	非线性动态系统
满足叠加原理，即解具有加和性：若 x 和 y 是解，则 $x+y$ 也是解	不满足叠加原理，即解具有非加和性：若 x 和 y 是解，则 $x+y$ 不是解
态空间至多有一个吸引子，没有不同吸引子的竞争	态空间可能同时存在几个吸引子，不同吸引子相互竞争
只有不动点（平衡态）吸引子，没有极限环等复杂吸引子	不动点、极限环（周期态）、环面（准周期态）、奇怪吸引子（混沌态）应有尽有
只有平庸的稳定性交换，即丧失稳定性或获得稳定性，没有不同吸引子之间的稳定性交换	在同一态空间中，系统可能既有稳定运动，又有不稳定运动，具有所有可能形式的稳定性交换
只可能有他激震荡	既有他激震荡，又有自激震荡
原则上没有分岔现象	出现分岔是常见现象
没有突变	出现突变是常见现象
系统行为没有回归性，没有循环运动	系统行为一般都有回归性，循环运动是常见的
不可有发生混沌运动	混沌运动是通有行为
一切都是确定性的，未来完全可以预测，没有创新，没有发展	既有确定性，又有不确定性，长期行为不可预测，富有创新，富于发展变化

13.1.2 线性思维与非线性思维

把线性与非线性这对范畴引入思维研究，提出线性思维与非线性思维的概念，应是 20 世纪 80 年代末的事。80 年代末问世的两本影响很大的书，格莱克的《混沌》(1988) 和布里格斯等人的《湍鉴》(1989)，对线性观、线性方法、线性科学作了大量的分析批评，着力宣传非线性观、非线性方法和非线性科学，但都没有提到线性思维与非线性思维，虽然今天再读它们时大有此二概念呼之欲出的感觉。格莱克是报告文学家，对新术语有职业敏感性，如果当时已经出现这两个新概念，必定会收入他的“帐下”。《湍鉴》一书不止一次谈论非线性与创造性思维的关系，提出“非线性大脑”的说法，宣称“大脑是非线性行星上非线性进化的非线性产物”,[2]实际就是在论述非线性思维，使用这两个概念本来是十分自然而贴切的。笔者只在《科学美国人》上看到一篇以“非线性思维”为标题的短文[3]，介绍德国学者麦耶克瑞斯用混沌模型描述美苏冷战可能引发核战争的分析，引起五角大楼的关注，但正文完全没有出现这一新概念，更未作任何阐释，

符合新术语最初出现时的一般特征。我们推断，这至少应算最早使用非线性思维这个术语的文献之一。

20 世纪 90 年代中期以降，在学术文献中遇到线性思维与非线性思维这对概念的机会逐渐增多了，讨论这两种思维方式的论著不断问世。迈因策尔的《复杂性中的思维》以“从线性思维到非线性思维”作为导论的标题，意在昭示线性思维是传统科学的思维方式，非线性思维是新兴复杂性科学的思维方式，历史的发展要求实行从线性思维到非线性思维的转变。圣吉的《第五项修炼》是针对经营管理问题论述系统思维的名著，从多方面批判了线性思维，对非线性思维给出许多精彩的阐述。国内学者也有一些这方面的论述。

目前对非线性思维也存在某些误解。在讨论形象思维时，《思维学新探》一书的作者不赞同某些文献称形象思维的特征是非逻辑性的说法，认为“叫非线性较恰当”，有其合理内涵。他们引用了钱学森的一段话：“形象思维……不是线型的，是交叉进行的；不是流水加工，而是多路加工，所以形象思维是面型的。”[4]该书作者据此引出结论说：“这种非线性的面型思维具有整体性。”这里就存在误解，把面型与非线性混为一谈。在汉语中，“性”与“型”大不一样，线型与面型说的是对象在维数上的差别，线型对象是一维的，面型对象是二维的；线性与非线性说的是直与曲的差别，直线和平面都是线性的，曲线和曲面都是非线性的，任何维空间中都有线性与非线性的差别。面型对象有线性与非线性之分，非线性对象有线型与面型之别。事实上，在作者所引那段文字之后，钱学森紧接着还有一句话：“多了一维，难呀！”[5]钱老谈的显然是维数的不同，不是曲与直的相异。进一步讲，钱老此处说的只是思维的主要方面。如果做更细致的考察，我以为形象思维也不会完全没有线性过程，逻辑思维也不一定绝对是一维的。随着并行计算机的研究开发，将来或许会出现并行逻辑，那样的逻辑思维似乎也需要并且能够多路、交叉进行。

杨硕英在给《第五项修炼》写的导读中，为了回答“为什么系统思维如此重要”的问题时，提出“突破非线性思考（思维）”[6]的命题。这或许是词不达意，但毕竟是一个错误的命题，有违圣吉的本意。《第五项修炼》倡导人们通过系统思维的修炼，去辨认和防止“会‘诱使’我们舍本逐末、避重就轻、愈治愈糟、一再犯错，甚至兴奋而努力地制造共同的悲剧”（杨硕英，同上），这些弊病的根源恰恰在于不认识对象系统固有的非线性特性，误用线性思维处理问题。正确的提法应是突破线性思维，或者说，为了从分析思维转变为系统思维，只有建立和发展非线性思维才能取得突破。

有了上述学者这些工作的启发和借鉴，我们就可以对线性思维与非线性思维作出专题研究了。

线性思维与非线性思维是一对矛盾，要在相互对比中加以区别和界定。从科

学思维的角度看，线性思维与非线性思维都有两个层面的含义，二者又是相互联系的。在第一个层面上，把思维对象作为线性系统来识物想事的思维方式，称为线性思维；把思维对象作为非线性系统来识物想事的思维方式，称为非线性思维。在第二个层面上，把思维过程（活动）作为线性动力学系统来规范、运作的是线性思维，把思维过程（活动）作为非线性动力学系统来规范、运作的是非线性思维。

无论在理论上，还是在实践中，线性思维与非线性思维的区别都是一种人们可以亲身感知的客观存在。通常讲的科学思维、技术思维、管理思维、政治思维，乃至艺术思维，其中都有线性思维和非线性思维在活动。人们在实践经验中既可以学到线性思维，也可以学到非线性思维。不过，由于线性思维的简捷性和经济性，人们凭经验首先学到的常常是线性思维。所以，线性思维与非线性思维的差异和矛盾将永远存在。但线性思维长期占据主导地位，主要是400年来线性科学占据主导地位造成的。如法默所说，现代人是在被线性科学的教科书不断洗脑中成长的，"'非线性'这个词你只能在书末看到。一位物理系学生可能选一门数学课，最后一章可能讲非线性方程。你可能跳过这一章，即使不跳，那里讲的不过是如何把这些非线性方程约化成线性方程"。[7] 400年来，教科书如此，科学专著如此，学校教育如此，师傅带徒弟也如此。思维方式属于知识和认识的最深层次，一旦形成并经过教育而世代相传，就具备了极大的稳定性。粗略地说，线性思维是简单性科学的思维方式，非线性思维是复杂性科学的思维方式。所以，当非线性科学、复杂性科学迅速兴起，需要特别仰仗非线性思维时，人们不得不花很大力气去克服线性思维的巨大惯性。

13.1.3 把思维对象作为非线性系统来识物想事

400年来线性思维在科学发展中处于支配地位，有其深层次哲学观点的支持。在本体论方面，支撑它的是这样一个基本假设：现实世界本质上是线性的，非线性不过是对线性的偏离或干扰。在认识论和方法论方面，支撑它的是这样一个基本假设：非线性一般都可以简化为线性来认识和处理。人类文明发展到今天，要求我们从哲学思想上实现一次飞跃，放弃这种线性假设，采取非线性假设，用非线性思维取代线性思维作为科学思维的主导方式。

从世界观和认识论看，非线性思维建立在这样一个假设之上：现实世界本质上是非线性的，但非线性程度和表现形式千差万别，线性系统不过是在简单情况下对非线性系统的一种可以接受的近似描述。用毛泽东的语言表达："事物是往返曲折的，不是径情直遂的。"[8]如果在一般情况下都把非线性简化为线性来认识和处理，势必会歪曲现实世界的本来面目，导致错误的理论认识和采取错误的行动方案。遵循这个观点去识物想事的是非线性思维；否则，为线性思维。

从方法论看，非线性思维建立在这样一个原则上：一般情况下都要把非线性当成非线性来处理，只有在某些简单情况下才允许把非线性简化为线性来处理。遵循这个原则去识物想事的是非线性思维；否则，为线性思维。

从行动准则看，非线性思维建立在这样一个原则上："世界上没有直路，要准备走曲折的路，不要贪便宜。"[8]没有走曲折之路的思想准备，一心只想走直线，是线性思维的典型表现。承认事物发展是曲折复杂的，有准备走曲折之路的自觉性，是非线性思维的典型表现。做学问，发明创造，参军，经商，乃至整个人生，都是在旅行，旅行者总是选择那些幽微灵秀处为目的地。但"曲径通幽"，直径不通幽，你不准备也不善于走曲折之路，就不可能到达你所向往的幽微灵秀之地。

可以粗略地把思维对象划分为两类系统，不考虑人的活动的是广义的物理系统，着眼于人的活动的是事理系统，即人们办事情、处理事务的各种活动。不论作为研究对象的物理系统，还是人们参与从事的事理活动，本质上都是非线性系统或非线性过程，承认这一点是贯彻非线性思维的前提。

对于如何研究和应用非线性思维，圣吉为我们提供了一个很好的范例。《第五项修炼》总结出来的九个系统基模，都是由系统的非线性因素造成的，用它们来观察和解决问题，实际就是运用非线性思维。他的一个很有实用价值的贡献，是教会人们如何通过寻找系统结构中的反馈环路，"观察环状因果的互动关系，而不是线段式的因果关系"。[6]这是非线性思维的典型表现形式之一。这里就其中一个最简单的系统基模"成长上限"作些述评，如图 13-1 所示。

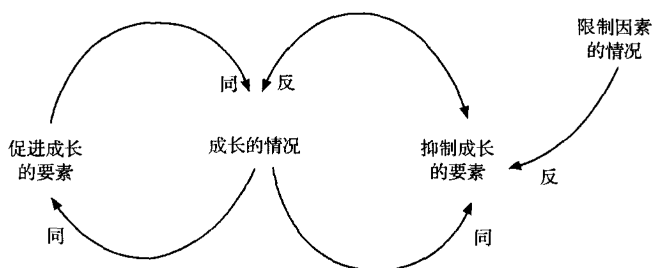


图 13-1 造成生长上限的环路

小至企业，大至国家，其成长过程中都隐含着两种环路，一为增强（自我繁殖）环路，一为调节（自我抑制）环路。在经营管理中常常看到，系统增强环路带来的快速成长期原本未达到成长极限，由于线性思维作怪，不认识对象系统的这种非线性特性而未加正确防范，结果触动抑制环路，导致成长停止。相反，如果按非线性思维行事，自觉地防止触及抑制环路，努力消除或减弱限制因素的来源，系统就可以继续成长。

我们以中国的发展为例来解释图 13-1。正确的改革开放政策是促进成长的要素，良好的成长又为深化改革开放提供更好的条件，形成增强环路。但成长良好可能激发系统自身的抑制因素，如产生自满情绪、贫富差距拉大、自身复杂性增加带来管理困难等。来自外部的限定性因素，如资源不足，地球生态失衡，周边某些国家不愿看到中国比它们发展更快，特别是美国为建立一极世界而给我们设置障碍等。如果不能消除前者并减弱后者，发展到一定程度系统就会形成强劲的自我抑制环路，放慢甚至停止增长。严重时，增长环路将反转过来运作，可能使系统走入衰败期。所以，我们必须坚持非线性思维，聚精会神抓建设，采取正确的内外政策，自觉防范各种自我抑制因素，尽量消除外部限制因素。

掌握第一层面的非线性思维，一是要有运用非线性思维的自觉性，二是熟悉非线性系统的基本特性，善于应用这种知识考察思维对象。在这方面，圣吉的工作提供了样板。不同行业的人应当像圣吉那样，找出非线性思维在本行业的特殊表现形式。

13.1.4 把思维过程作为非线性系统来规范、运作

第一层面的非线性思维总是联系着思维科学的应用，需要有关对象领域的知识。这方面的研究无疑极为重要，但不属于思维科学的主干。第二层面的非线性思维研究才是思维科学的本体部分，尤其是基础科学层次的思维学的建立，必须大量应用复杂系统非线性动力学原理考察思维过程。

作为理论研究的前提，首先需要确认：人脑思维过程是不是一种非线性动力学系统？答案无疑是肯定的。经验告诉我们，人的思维活动有中断，有跳跃，有饱和，有震荡，有时候思如泉涌，“神思方运，万途竞萌”（刘勰），有时候“六情底滞，志往神留，兀若枯木，豁若涸流”（陆机）。这一切都是非线性动力学系统的典型表现。现在已经发现的典型非线性现象都存在于思维运动中，我们甚至有理由假设：思维运动中可能存在某些外部世界没有或不典型的非线性动力学现象，需要给以特殊的重视。

关于第二层面非线性思维的研究，似可归结为以下几方面：

一，剖析、辨识、清理人们在思维实践中形成的各种线性思维模式，找出那些由于将思维的非线性误认作线性而形成的模式、成见，查明所以造成误解的根源，研究如何消除积淀于心智模式中的线性思维，用非线性思维取而代之。

二，重新认识和评价现有思维科学著作对思维活动的各种现象、运作方式、内在机制等所给出的阐释，揭露其弊病，运用复杂系统非线性动力学原理给以新的阐释，引出新的结论。

三，收集人类思维实践中各种尚未受到思维科学关注的新现象、新事实、新问题，特别是那些复杂的、难以解释的、多少有些令人感到神秘的东西，它们必

定与大脑神经网络的非线性特性有关，需要用非线性动力学原理给予解释。

随着这些研究工作的展开，应在可能的情况下引进数学模型方法，开展实验研究，特别是计算机模拟实验研究。这类成果积累到足够程度，就可以着手建立阐明非线性思维运作机制的理论体系．建立思维学。

关于这方面的进展，《复杂性中的思维》一书提供了不少线索，惜乎语焉不详。《第五项修炼》提出和分析人的潜意识被语言、文化、信念等因素“程式化”的问题，讨论人的心智模式如何从非系统思维向系统思维转换，包括从线性思维向非线性思维转换。本文参考文献［9］、［10］、［11］试图运用吸引子、分岔、分形、混沌、混沌边缘等概念考察思维运动，反映了思维科学前沿的部分动向。《大脑工作原理》运用协同学方法考察肌体运动、模式识别、决策中的某些问题，对思维运动的非线性、自组织等特点以及如何建立数学模型，做了一些具有启发性的工作，从中可以看出相关研究的许多动向。下节就哈肯的一项工作作点述评。

13.1.5　两可图识别的非线性机理

所谓两可图（ambiguous figure），如图 13-2 和图 13-3 所示。指同一图像中包含 A、B 两种不同的视知觉对象，各有一定的含混性，因识别过程的初始状态和主体的偏好不同而有不同的选择，或者看成图像 A，或者看成图像 B，但都不能持久，一定时间后将被另一种图像取代，导致认知系统在 A、B 之间的震荡。两可图内蕴含着深刻的科学和哲学含义，借助它们可以对许多自然的、社会的和心理（思维）的复杂现象做出深刻的阐释，在认知和思维研究中有重要价值。哈肯的协同学专著从第一部（《协同学导论》，1976）起，一直都有关于应用协同学原理解释两可图的讨论。《大脑工作原理》（1995）更从脑科学角度给以系统研究，显示出非线性动力学方法对于揭示思维运动内在机制的有效性。



图 13-2　是花瓶，还是脸？



图 13-3　是老妪，还是少妇？

哈肯将两可图“看作协同系统（即自组织系统）中的序参量协同作用产生的双稳态效应”。[2]双稳态属于非线性系统的一种运动体制，特点是态空间存在两个吸引子，彼此竞争。在 t 维情形下，可用图 13-4 形象地说明之。曲线上的每个点代表系统的一个状态，其集合构成系统的状态空间（态空间，相空间），其中 A、B、C 为定态，其余为瞬态（系统在每个瞬态的持续时间为 0）。A、B 为吸引子，C 为排斥子。中图为 A 与 B 对称的情形，左右图为 A 与 B 不对称（势阱深浅或势垒高低不同）的情形。

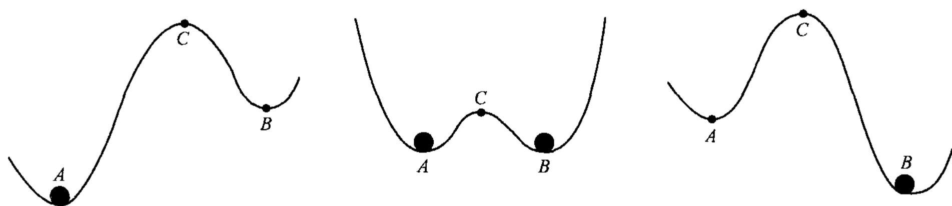


图 13-4　双稳态

两可图识别是一类特殊的模式识别。人在日常生活中积累了许多模式和信息，模式识别就是把眼前的对象与大脑中存储的模式进行对照，给对象的属性作出判决。唐人李益的著名诗句“问姓惊初见，称名忆旧容”，说的就是这种情形。模式识别是一种动力学过程，即系统从初始状态趋达吸引子的过程，过程开始时刻看到的东西（初始状态）只是对象的部分图像，代表识别过程的试验模式，信息不完全，故不能判定是 A 还是 B，需要补充信息，识别过程就是补充信息的过程，信息补充完整了，识别任务也就完成了。

理论上说，A 与 B 被选择的机会均等，如图 13-4 中所示。但对于一个具体的识别主体而言，由于种种个人偏好，A 和 B 对他或她一般都不对称，如左图或右图所示，因而不同人对同一两可图常做出不同的识别。以图 13-3 为例，心理实验表明，80%的男性首先识别为少妇，20%的男性首先识别为老妪。由于两可图固有的含混性，偏好在两可图识别中的影响必须考虑，需要找出描述偏好的科学方法。

根据动力学理论，控制参量的变化决定状态空间的动力学结构（定态点的数量、类型、分布等），一旦到达分岔点就会引起系统相变（由一种定态变为另一种定态）。在图 13-4 的左、右图中，A、B 两点的势阱深度不同，代表它们的稳定裕度大小不同，势阱浅的定态容易失去稳定性。两可图识别是注意力高度集中的有意识活动，注意力属于模式识别这种动力学系统的控制参量。识别过程中注意力参数取最大值。一种模式（如 A）一旦被识别，相应的注意力就开始减弱（参数值逐步减小），定态点的势阱开始变浅，势垒降低，注意力减弱到一定程

度，该模式（定态）将接近不稳定的边缘，一点小扰动就会驱使系统越过势垒，重新启动识别过程，使注意力集中到另一种模式（B）上。一段时间以后，再次启动相反的识别过程，系统又回到前一模式（A）。由此形成认知系统在 A 与 B 之间来回交换。这就是两可图识别中的双稳态效应。

哈肯总结上述认识后指出："模式识别似乎是一种由原来学到的模式、注意参数和偏倚控制的各个序参量之间的竞争过程。"[12]基于这种理解，他以协同学为理论武器，以注意力为控制参量，建立序参量方程，对两可图识别进行数学分析，并取得一定的实验数据支持。这些工作给人留下很深的印象。尽管协同学属于简单巨系统理论，思维属于复杂巨系统，但思维运动中也有双稳态效应这类不很复杂的现象，可以用协同学方法描述。所以，中国思维科学界还应当深入研究协同学等系统理论，用以探究思维的某些深层机制。

对两可图识别的上述分析可以推广应用于非视觉的模式识别。一个有趣的例子是毛泽东关于中国人阅读古典诗词时心理活动的分析。中国古典诗词整体上也是一种两可图，一方为豪放派，一方为婉约派，其界限是含混的。不同欣赏者有不同的偏爱，如毛泽东偏爱豪放，不废婉约；李清照偏爱婉约，不废豪放，等等。毛泽东指出："人的心情是复杂的，有所偏但仍是复杂的。"[13]吟诗这种审美活动中同样存在双稳态现象，注意力也是系统的控制参量，而阅读兴趣支配注意力。"读婉约派久了，厌倦了，要改读豪放派。豪放派读久了，又厌倦了，应当改读婉约派。"[13]一切审美活动中都存在这类动力学现象。

哈肯指出，作为大脑的两种认知活动，模式识别和决策之间有深刻的相似之处，因而对决策亦可以做上述那样的协同学分析。[12]一切二中择一的抉择都是基于非线性系统的双稳态效应。舆论的转向，流行时尚的改变，当前美国对伊朗、叙利亚和朝鲜是战是和，等等，都可以作类似的考察。二战以来美国的对外政策就是在战争与和平这两种稳态之间来回震荡的，而且在不愿意放弃霸权主义的未来一段时期内将继续震荡下去。美国的两党制民主选举也是一种双稳态，反映的是选民群体思维的震荡现象：民主党在台上待久了，就想让共和党干干；共和党干久了，就想换成民主党上台试试。

13.1.6　灵感思维的非线性机理

在不可预料的时间，以突然方式出现而又极易消失的新想法、新概念、新意象，称为灵感；思维系统的这种运作方式，称为灵感思维。正常人都有灵感，不同的只是在灵感的深刻性、新颖性、创造性和频繁性上有差别而已。但对灵感的性质、发生机制、运行规律，一直缺乏令人信服的科学阐述，灵感的"神秘性"至今仍然困扰着学术界。

经验表明，灵感是大脑长期准备的产物，并非突然从外部降临于头脑中的。

那么，在它突然出现之前大脑是如何进行准备的呢？思维属于意识的一个方面，包含潜思维和显思维两个不同层次。灵感的出现属于显思维层次的现象，灵感的准备则主要是在潜思维层次进行的。所以，灵感的产生属于潜思维与显思维两个层次之间的联系和过渡，就像我们目睹泉水从地面下喷涌而出却看不到它在地面下如何运行一样，我们能在显思维层次直接感受到灵感出现时的喷涌之势，却无法了解它在潜思维层次如何运作。真正弄清这个问题有赖于脑科学和意识论的突破，也需要系统科学的涌现概念、等级层次理论和自组织理论。

思维作为一种高度有组织的活动，是自组织的，还是他组织的？笔者认为，思维既有自组织，又有他组织，二者既矛盾又合作，一切思维运动都是在思维的自组织和思维的他组织彼此依存、交相触发、不断转化中发生、发展、完成的。潜思维本质上是自组织的，显思维则离不开他组织因素，自我意识就是思维运动主要的他组织者。一切有计划有步骤的思考活动都包含他组织思维。人们常说“让我想一想”，说的就是自我对大脑神经网络系统下达启动思维过程的控制指令，即他组织指令。在面试或题试之类的活动中，受试人的思维活动首先是由主考者启动和导向的，具有双重的他组织者。但不论在何种情况下，思维主体头脑中对感性认识的加工处理总是自组织地进行的，特别是同时发生在潜意识中的那些思维活动只能是自组织的，自我意识无法直接加以干涉控制。潜意识层次的这种自组织思维活动是自我在显意识层次上有计划有步骤进行的思维活动赖以展开的基础、获得成功的保证。但潜思维也不是绝对的自组织，此一时刻的潜思维活动，是在以往长时期中显思维活动不断积累、准备的基础上进行的。大科学家彭加勒在谈论自己的灵感思维时，把个中道理说得更直白：“这些出其不意的灵感只是经过了一些日子仿佛纯粹是无效的有意识的努力之后才产生的。”[14]尽管无法预测灵感到来的时间，只要坚持“有意识的努力”这种思维的他组织行为，并且方法对头，必定能够加速灵感的到来。用哲学家的语言讲，灵感只光顾那些有准备的头脑。

就灵感发生而言，它在潜思维层次无意识地孕育和准备，在显思维层次表现出来的自发性、不可预见性，这两者都是灵感具有自组织性的重要表现。自我意识制定的计划，主考官的发问，对灵感的出现都不会发生直接作用，有时还可能抑制灵感的产生。但思维的他组织在这里也不是全然无所作为，有意识地放松思想，或游山玩水，或与持不同观点者争论，以求开阔眼界，改变思路，诸如此类的思维他组织，都有可能促使灵感尽早出现。即使有意识的活动对灵感产生抑制作用，也属于思维过程中的他组织现象。

灵感思维是一种非线性动力学现象，主要特点是突发性和不稳定性，无法用线性理论解释。因为如前所说，线性系统不可能发生突跳和稳定性交换。非线性动力学原理则可以提供令人信服的解释。突发性表明灵感是一种动力学临界现

象。动力学是在态空间研究系统的，态空间由瞬态和定态两类状态组成。从系统的态空间看，灵感是瞬态还是定态？理论上看，瞬态占有的时间为无穷小或 0，没有可实现性，定态才可能有非 0 的时间占有。灵感尽管短暂，作为一种在人脑中出现、能被自我所感知并且有可能被抓住的思维模式，占有的时间为宏观有限值（估计一般为几十毫秒），因而必定是脑神经网络系统的一种定态，而非任何瞬态。灵感的那种“来不可遏”的必然性即可实现性表明，一定有稳定的轨道通向这种定态，保证灵感能够实现（尽管是短暂的）；如果所有的轨道都不稳定，如图 13-5 左图所示的不稳定结点，或不稳定焦点、不稳定极限环等，态空间的所有轨道都被它“拒之门外”，这样的定态即使短暂的实现也是不可能的。灵感与它们无缘。

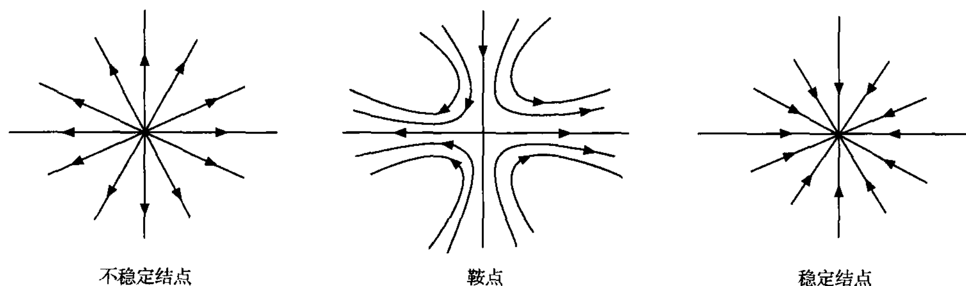


图 13-5　几类不动点型定态

但灵感的不稳定性和易消失性（“去不可止”）表明，出现在显思维层次上的定态点必定存在不稳定轨道，因而任意小的扰动都会驱使系统迅速逃离、消失。没有不稳定轨道的定态无法解释灵感的易消失性。既有稳定轨道，又有不稳定轨道。这样的定态只有一种，就是如图 13-5 中图所示的鞍点。鞍点的奇异之处在于它是稳定性与不稳定性的统一体，有两条稳定轨道和两条不稳定轨道，附近其他轨道的特点是，沿着它们起先不断向鞍点靠近（类稳定性），后来又不断远离鞍点，总体上仍是不稳定轨道。因为存在稳定轨道，由潜思维层次突跳而出现在显思维层次的运动可以沿着它们到达定态点，从而实现自己，为自我意识所察觉；因为存在不稳定轨道，无法避免的扰动很可能使新想法沿着它们迅速逃遁，因而新想法稍纵即逝，诚所谓“作诗火急追亡逋，清景一失永难摹。”（苏轼）。通向鞍点的稳定轨道只有两条，附近的不稳定轨道却有无穷多条，足见灵感之罕见和可贵。

如此说来，灵感并不神秘，它不过是潜思维层次的非线性动力学运动到达某个临界点时，突然与显思维层次接通，沿着某个稳定轨道迅速运动到态空间的鞍点，从而被自我所意识到的一种思维运动。简言之，从脑神经网络系统的态空间看，灵感是在潜思维层次孕育而在显思维层次涌现出来的鞍点。突发性包含偶然

性。灵感的这种偶然性包含两个方面：潜思维何时何地到达临界点有偶然性；到达临界点后能否实际发生突跳而涌现到显思维层次，还需靠偶然性来实现对称破缺选择。这就是心理学家所说的外界机遇激发的灵感。

善于非线性思维的人能够抓住突如其来的灵感，把它变成稳定的认识，致使一般人觉得他们非常聪明，颇有点神秘性。从非线性动力学原理看，此类现象不难解释。如前节所说，在认知或思维活动中，注意力参数是系统的控制参量，控制参量的改变能够导致系统发生定性性质的变化，包括定态点类型的改变和稳定性的交换。灵感出现之前潜思维层次的准备工作是在注意力没有参与（注意力参数取零值）的情况下进行的，灵感（鞍点）是零值控制参量下的系统定态，一种特殊的不稳定定态。一旦涌现到显思维层次成为有意识的现象，这时候，只要思维主体立即令注意力参加进来，努力抓住新想法，即注意力这个控制参量取足够大的非零值，就可以导致系统发生稳定性的交换，原来的鞍点就转变为稳定的定态，如图 13-5 的右图所示（图中给出的是稳定结点，也可能是别的稳定定态）。这里我们又一次看到他组织在思维活动中的重要作用：适当的他组织作用（注意力）足以改变系统态空间的结构，使灵感从极易消失的鞍点转化为可以持续存在的稳定定态。

灵感还具有局域性和短暂性的特点。线性系统也可能有鞍点，但它以整个态空间为吸引域。非线性系统的鞍点必定是局域现象。灵感的短暂性表明它是局域现象，不是态空间的全局现象。这从另一方面说明灵感属于非线性系统的特性。

13.1.7 不要全盘否定线性思维

迈因策尔对线性思维和非线性思维的评论有些绝对化，他在书中一再强调“线性的思维方式是危险的”，[1]却极少给出具体的分析论证。这样做对于确立非线性思维的主导地位虽很有必要，但容易导致全盘否定线性思维的片面性。在《第五项修炼》中，圣吉多处把线性思维与非系统思维等同起来，把非线性思维与系统思维等同起来，更容易造成误解。需要澄清的是，说线性思维作为主导思维方式的时代过去了，不等于说线性思维已一无是处。

辩证地看，不论线性思维，还是非线性思维，只要应用得当，都是系统思维，都是科学思维。组织理论家基佛说得对：“仍有许多问题用直线思维最恰当”[6]（圣吉引用了这一句话）。线性思维的优点是简便、快捷、经济，在有些情况下是最佳思维方式。人们在日常生活中需要解决的问题，不少都属于小范围、短时期的弱非线性问题，允许作线性化处理。日常生活有时也确实存在捷径，存在捷径而有意走曲折的路，岂非弱智？即使在科学技术中，只要线性科学还有存在的价值，线性思维就有存在的价值。

无条件地说“一分耕耘，一分收获”，或“有一分热，发一分光”，属于有害

的线性思维。因为一般情况下“事”与“功”呈非线性关系，有时事倍功半，有时事半功倍，有时有事无功。但在足够大的时间尺度下看，这种非线性可以也应当忽略不计，把事功关系近似看成线性的，坚信“一分耕耘，一分收获”，拒绝投机取巧，坚持直道而行。学术研究尤其应当如此。类似于科学技术中的线性化加微扰的处理方法，生活实践中每项成功的经验都可以经过适当修正而推广应用，这种线性思维是科学的；但任何成功经验都有自己的适用范围，不加限制地推广它，把局部经验当成普遍真理，这种线性思维是错误而有害的。

人们在实践中常常把线性思维与非线性思维结合起来使用。考虑一种最简单的情形。设某个客观过程可以表示为一条连续光滑曲线，我们用一条连续折线近似描述它，如图 13-6 所示。一条直线段代表一个阶段，每个阶段内使用线性思维；但两个阶段的过渡时期必须用非线性思维；整个过程交替使用线性思维和非线性思维，两种方式经历多次转化。由于在转折点上系统运行方向发生突然改变，属于本质非线性，何时转折，向什么方向转折，转折的角度等，需要精准地把握。转折过早，线性近似还适用而废弃，不合算，过分频繁的转折事实上已经失去线性逼近的意义。转折过晚，线性近似的偏差积累过大，转折角度必定过大，就会影响系统稳定，严重时系统可能已经丧失了实现转折的能力和机会。如果在转折点上选错方向，将带来灾难性后果。可见，在整个过程中，线性思维与非线性思维需要并用。但占据主导地位的是非线性思维，因为何时可以使用线性思维，何时必须停止使用线性思维，这些问题是线性思维自身无法解决的，要按照非线性思维来决定。

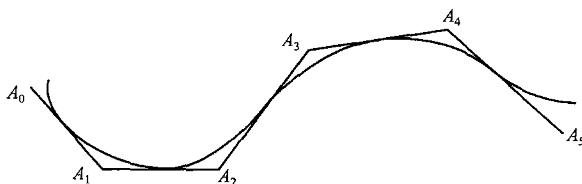


图 13-6　非线性过程的分段线性化

问题在于，现在人们尖锐批评的非系统思维的种种表现，都是面对强非线性问题而滥用线性思维造成的。在越来越复杂的现代社会中，线性思维的有效应用范围十分有限，切忌滥用。当面对非线性不允许忽略的系统时，如果仍然以线性思维方式处理，势必导致错误的认识和行动，这样的线性思维就属于非系统思维了。系统思维的主导方面是非线性思维，从分析思维转变为系统思维，要害是从线性思维转变为非线性思维。需要指出，这里讲的非线性思维，是把线性思维作为特例包括进来的思维方式。

最后指出，提倡掌握非线性思维，并非提倡有意制造曲折。不论思维的过程

还是结果，如果某些曲折是主体制造出来的，思维对象并不具备，同样属于我们要消除的非系统思维。在这里，辩证唯物主义强调的“实事求是”原则同样不可违背。

苗东升

选自《首都师范大学学报（社会科学版）》2003年第5期。

13.2 形象思维中的形象信息模型的研究①

13.2.1 引论

关于形象思维的研究至少使三个方面的学者深感兴趣：一是研究文艺理论的学者，二是研究认识科学和思维科学的学者，三是研究人工智能的学者。

文艺理论领域对形象思维的观点有分歧。有一部分学者认为“形象思维并非思维”。[15]他们认为“思维必须是大脑认识活动的这一阶段向另一阶段的推移，因此不可能离开概念、判断和推理”。[16]另一部分学者则认为“科学家用概念来思考，而艺术家用形象来思考”，“艺术家通过对现象本身的展示来揭示规律，通过对个别的展示来揭示一般，通过对局部的展示揭示全体”[17]。他们认为“形象思维自有其本身的逻辑，形象思维不停留在感性认识的阶段，它也从感性认识上升到理性认识”[18]。目前在我国文艺界，赞成形象思维不仅存在，并且是文艺思维的主要形式的意见已明显地占据优势。

认识科学界对心象（mental imagery，亦称表象或意象）已有长期研究[19,20,21]。心象作为人类心理中的一类重要信息，是来自于感知的一种抽象类似物[22]，而且是人类记忆的主要形式[21]。但认识科学界的多数学者认为思维主要是基于概念、判断和推理进行。因此，他们进而用语义网络来模拟人脑中的记忆结构和思维过程，并把思维过程主要描述为问题解决过程[22,23]。但他们认为此外还存在着一种特殊的思维过程，称为“想象”。“想象是人脑对过去形成的表象进行加工、改造而产生新形象的心理过程。”“想象是创造活动的主要心理成分”[21,16]。1981年诺贝尔奖获得者，美国加州理工学院Sperry关于裂脑人的研究，证明了人的左右两个半脑是高度专门化的。左半球主管抽象思维，具有语言的、理解的、分析的、连续的和计算的能力；右半球则与知觉和空间有关，具有音乐的、绘画的、综合的、整体的和几何空间的鉴别能力[24]。这一研究成果，为形象思维作为一种与抽象思维并行的思维形式的理论，提供了生理结构方面的旁证。

---

① 本项研究得到国家高技术智能计算机系统主题项目的支持。

人工智能界对形象思维的研究活动最早可见于 Simon 1975 年对设计思维过程的研究[17,25]。Simon 认为设计是一种特殊的问题求解，其中是一类特殊的思维过程。他称这种过程为综合（synthesis）。1978 年 Stiny 提出了 shape grammar，利用语法来分析和产生图形。Stiny 和 Mitchell 使用 shape garmmar 成功地分析和模拟了 paradise 建筑设计风格[26,27]。1982 年浙江大学人工智能研究所将计算机图形学技术和知识工程技术相结合，成功地建立了能自动创作图案的《智能模拟彩色平面图案创作系统》[28]。到 80 年代后，随着智能 CAD 的研究逐步深入，机器创造问题被尖锐地提到人工智能研究者的面前[29]。它和 AI 中的另外一些难题，如常识表达、机器学习等等预示了单用抽象逻辑方法解决问题的局限性。研究形象思维，开始成为 AI 理论发展和应用实践的迫切需要。戴汝为等对思维模型的研究跨出了极有意义的一步[30,31]。

中国著名学者钱学森 1981 年提出思维科学的体系，在学术界引起极大反响。他将思维科学细分为抽象（逻辑）思维学，形象（直感）思维学，和灵感（顿悟）思维学三个组成部分；提出抽象思维是线型的，形象思维是面型的[30,32]，并指出研究思维学要将形象思维的研究作为突破口。在钱学森的影响与组织下，对形象思维的研究进入一个高潮。中国文艺界、哲学界和计算机界涌现出一批论形象思维的专著和论文。其中如杨春鼎关于文艺创作、中国文艺欣赏和文艺评论三个方面的思维过程的分析[32]，肖君和的关于形象思维与抽象思维在形式、规律和目的的比较[33]，尹红风、戴汝为的对形象思维与人工智能关系的分析[31]等等都含非常精辟的见解。

本章打算以认识科学的研究成果为基础，以信息加工过程为观察点，分析形象思维过程和形象信息模型的结构。文中所指的形象主要指视觉形象。

13.2.2　形象思维的输入输出模型

形象思维中的形象是心象[34]，它是人脑长期记忆中的事物的形象。有的心理学书也称心象为表象或记忆表象[22]。

心象有两个来源，一个是通过感知，另一个是通过形象思维。外部事物通过感知觉而产生心象的过程如图 13-7 所示。

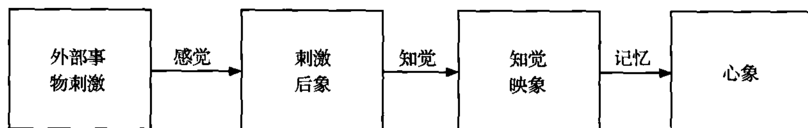


图 13-7　感知产生心象的过程

其中感觉是人脑对外部事物刺激的直接反映。知觉是脑对外部事物整体的综

合反映。记忆在这里主要是识记与保持。刺激后象是感觉所产生的一组刺激值。知觉映象是知觉对多种刺激综合所得出的一个具体结构。心象是长期记忆中对象形象的一种概括。和心象相比，知觉映象是外部事物经感知后的即时结果，因此是短暂的，但是鲜明的，清晰的，具体的。心象则是经过保持、遗忘和干扰的记忆，并且是多次感知和形象思维的结果，因此是长期的，但相对地是不鲜明、不清晰、不具体的。例如，你到过天安门，脑中就有天安门的心象。但当你再次来到实地，眼睛看见天安门时，所获得的是视觉映象——它比心象更具体、更鲜明、更清晰。

心象的另一个来源是形象思维的结果。当作家写小说，建筑师做方案，画家进行构思的时候，他们的脑中会生成新的心象。图 13-8 示出心象的两种来源。

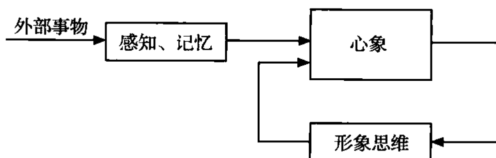


图 13-8　心象的两种情况

按照感觉的不同，心象可分为视觉心象、听觉心象、嗅觉心象、味觉心象、触觉心象和运动心象六种。各类心象之间可以彼此激活，例如望梅止渴。

人脑思维所涉及的信息分两大类：长期记忆中的信息和非长期记忆中的信息。长期记忆中的信息可以分为三类：形象类信息，即心象，记为 M；抽象类信息，如概念、判断等，记为 A；其他类信息，如情感等，记为 X。长期记忆以外的信息至少有两类：由外部刺激输入的信息，记为 s；和去控制身体某种运动的信息，记为 c。

现在来定义形象思维。一个最少异议的关于形象思维的定义如下：

定义一：形象思维是使用了形象的思维活动。

从信息加工的角度看，思维活动可以看作人脑中的一种信息加工过程。形象则是一种信息。于是，定义一可以重写如下：

定义二：形象思维是使用了形象类信息的信息加工过程。

这样，形象思维的对立物抽象思维可以被对称地定义为：抽象思维是使用抽象类信息的信息加工过程。值得注意的是，定义二没有限制在形象思维中使用形象类以外的其他类信息。

一个信息加工过程可以看成为一个 n 路输入和 m 路输出的黑箱。图 13-9 示出形象思维的输入输出信息加工模型。

其中 $i_a \in \{M,A,X,S\}, a = 1,2,\cdots,n$

$i_b \in \{M,A,X,C\}, b = n+1, n+2,\cdots,n+m$

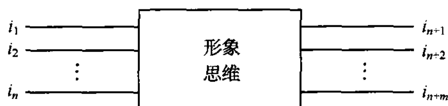


图 13-9　形象思维的信息加工输入输出模型

而且必有一个 $i_c \in M, c = 1, 2, \cdots, n+m$

我们先考察这个模型最简单的情况，即一个输入和一个输出的情况，它可被称为 1-1 型形象思维，简记为 $I(i_a) = i_b$。在不考虑未知信息 x 的情况下，1-1 型形象思维包括如下形象思维过程：

$I(s) = M$，这是因外部事物的刺激而产生心象的思维过程。例如，在欣赏山水中而获得印象的过程。

$I(A) = M$，这是因抽象信息而产生形象信息的过程。例如，在阅读小说时的形象再造。

$I(M) = M$，由一个心象而产生另一个心象的过程。例如，联想。

$I(M) = A$，这是由心象而产生抽象信息的过程。例如，概念从形象的提取过程。

$I(M) = C$，这是由心象而产生控制肌体的行为的信号。例如，设计师准备将一个构思画出来的信号，又如想到酸梅而产生分泌唾液的信号。

按照皮亚杰的发生认识论，识别是一个包括同化、顺应的双重建构过程[35]。它可以被描述为一个 1-2 型形象思维过程：

I（S）＝（M，A）

这就是说，识别过程是在外部事物刺激下，产生一个判断（A）和产生（修正）一个结构（M）的活动。

I-n 型形象思维过程的例子是：一个好酒的人看见一瓶茅台，仿佛闻见酒香，口腔产生酒感，舌头分泌唾液。

由上述形象思维和抽象思维的定义可见，形象思维是一个概念范畴。形象思维的典型成员是从心象到心象的思维活动，非典型成员是从非形象信息到心象或从心象到非形象信息的思维活动。形象思维和抽象思维两个范畴是部分重叠的，即某些思维活动既属于形象思维，又属于抽象思维。大而复杂的思维活动往往是两种思维的交织，这可以用若干个如图 13-9 所示模型的联接来描述。串联可以描述两类思维的穿插交替进行；并联可以描述两类思维的同时进行。

13.2.3　形象信息的结构模型

如上节所述，心象可以分为很多的种类。本节所述的形象特指视觉心象。

心象的结构是心理学家研究的热点。他们做了很多实验来操作心象[22]。基

于这些实验心理学家指出心象有着一系列的特征，例如：心象不联系于视觉形态，而是视觉形态的结构类似物，它具有结构，可分解为若干子心象；心象能承受空间操作；大小越接近，在心象中就越难比较；一些心象与另一些心象密切相联，而它们相联的原因往往是时空上相近，特征相近，或者容易彼此代替和融合[19]。一个合理的形象信息模型应当能基本符合心理学中关于心象的特征。迄今为止，计算机科学所采用的形状表达方法有：

一维表达：自然语言，数学解析式（轮廓），图像；

二维表达：平面图形；

三维表达：曲面模型，实体模型。

所有这些表达方法都不适合于描述形象。首先，因为视觉心象不仅包括形状，也要包括色彩、质感、运动方式等其他视觉性质，而且还应含有与其他类型的心象（如听觉、触觉、嗅觉等等）、情感及抽象信息的联系。例如，当一个人在想到母亲的形象时，她的音容笑貌、行为举止会很自然地一起浮现出来，并同时会在心中激起对母亲的感情。其次，心象的构成方式是多种多样的。它有时是以更小的心象组合而成（这种方式与 CSG 实体模型[36]有一些类似之处），但是，更多地是以相似、相反和时空相联等其他方式构造在其他心象的基础之上。例如，一个第一次见到狼的人，他的反应往往是："这是什么东西？它好像是一只拖着尾巴的狗。"这说明，他在狗的心象的基础上构造狼的心象。脑中最熟悉和最理解的心象，是人在构造新的心象时最常用的素材，也是格式塔心理学家所称的"good form"的深层含义。

基于上述分析，视觉心象具有三块结构。其中一块结构是建立在其他视觉心象的基础上的，包括：

一，构成结构，它指一个形象是由若干小形象结合而成的。这种结构和 CSG 有相似之处。但是，心象的信息比较抽象、不完整、富有弹性和整体性，而且经常简略次要之处，强调主要之处。这使得结合操作非常方便，而且信息空间的使用十分有效。例如，人鱼是由人的身和鱼的尾构成的心象。尽管人身和鱼身差别很大，在心象中的结合却十分方便。

二，类比结构，它是指一个形象是由另一个其他的形象通过类比而形成的。类比关系包括源形象和新形象在形状、色彩、纹理以及其他结构元素上的相似，相反或存在某种差异。这种结构在心象的建立、检索和使用上具有很高的时空效率，因而是人们最常用的心象结构。正是这种结构使得形成创造的一种重要能力——转移经验的能力得以实现。

三，时空结构，一个心象与另外一些在时间和空间上相接近的其他心象之间具有密切的联系。这种联系形成一类新的结构，称为心象的时空结构。例如，当人想起一道美味的菜时，他会自然地联想起放在这只菜旁边的其他菜，用这只菜

时所饮的酒，一起用酒菜的朋友，以及酒席周围的房间装饰等等。这些空间相近的心象合成了一个复杂的酒宴的心象。整体不是简单地等于局部之和，而是呈现一个新的结构。一个酒宴的心象可以描述欢宴、饯别、叙旧、甚至是鸿门宴等等知识，但组成它的局部却不能。视觉心象的信息模型如图 13-10 示。

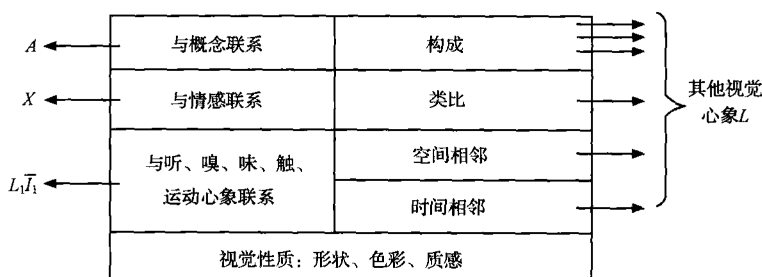


图 13-10　视觉形象的信息模型

视觉形象的信息由三部分构成，第一部分是视觉形象的性质：形状、色彩，质感。对于使用非结构方法（即不是使用构成、类此和相邻方法）的心象，通常直接用视觉性质来描述视觉特征。它们通常用于 good form。第二部分是与其他视觉心象相联系的结构信息，包括用构成、类此、和时空相邻等结构方法与其他心象的联系。复杂心象可以采用其中一种或数种方法构成。第三部分是与人脑中视觉心象以外的信息的联系，包括：该心象所联系的概念，该心象所激发的情感，以及该心象所联系的听、嗅、味、触、运动等其他种类的心象。望梅止渴就是通过视觉心象与味觉心象之间的联系而产生的结果。

13.2.4　形象思维和抽象思维的不对称性模型

从信息加工的角度来观察，知识是一种含有一定意义的信息的结构。形象有明确的意义，也有一定的结构，因此，形象也是知识，而且是一类更重要的知识。因为根据心理学，人脑中形象信息量是抽象信息量的 1000 倍。因此，形象是人脑所存的知识的主要形式。一个形象由于结构的多重性和复杂性，可以被一大堆抽象性的知识来分解描述。“一幅画胜过一千句话”正是人对这两类知识特点的一种认识。

形象是概念的第一来源。概念可以分为两类。第一类概念来自于形象。第二类概念来自于其他概念。第一类概念是一种范畴，属于范畴中各形象彼此并不平等。有的形象处于范畴之中心，称为典型成员；有的形象处于范畴之边缘，称为边缘成员，此外，则是一般成员。例如水果是一个范畴。对于很多人，苹果和柑橘是水果的典型成员，而黄瓜和南瓜则是边缘成员。心理学的实验已证明，在由范畴与形象之间转换的思维过程中，典型成员最易被联想，所耗时间最少。上述

形象和概念的关系可以表示为图 13-11。

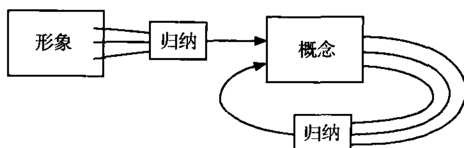


图 13-11 形象与概念的关系

形象的结构是判断的第一来源。判断的另一个来源是推理。形象与判断的关系如图 13-12 所示。判断是形象的一种分析综合式描述。例如“张三拿着一本书”，是对人、书、拿的动作的分析及其所综合的形象的描述。判断着重描述形象的结构。

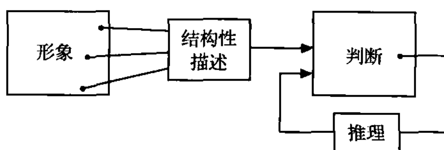


图 13-12 形象与判断的关系

由上节讨论可知，视觉形象可以通过构成、类比、时空相邻等方式由其余视觉形象构筑而成。这种构筑的过程由形象思维完成。判断也是由概念构筑而成的。那么，人们会自然地联想到，这种构筑过程可能是由抽象思维完成的。但是，迄今为止的抽象逻辑学一直未能描述任何将概念构成判断的抽象思维过程。我现在将形象与抽象思维之间这种令人惊讶的不对称情况以图 13-13 的形式表示出来。

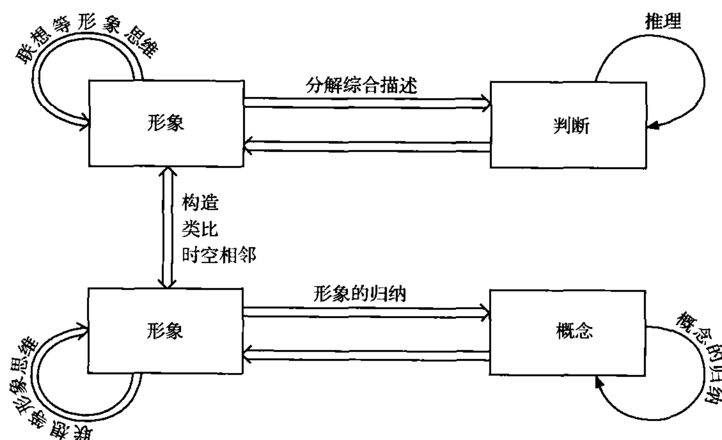


图 13-13 两种思维结构令人惊讶的不对称

（单线表示抽象思维，双线表示形象思维或两种思维之交）

观察图 13-13 可以得出两个令人震惊的假说：

一，抽象思维还没有一种机制可以将概念结构出判断。因此从概念到判断的构成过程是通过形象思维完成的。

二，从整体而言，传统认为完整的抽象思维并不是一个完整的体系，它分为两个部分，彼此唯有用形象思维才能相联。

13.2.5　结论

人工智能的研究经常为“常识性知识”的表达之困难而苦恼。从以上的分析看来，绝大多数“常识性知识”是以形象的形式存储在人的记忆之中。它们既可以被转化为判断参加抽象思维，又可以直接参加形象思维。想要用抽象逻辑来代替形象，当然困难重重，不胜其烦。因此，研究形象知识的表达是人工智能一项有重要意义的工作。

抽象思维的不足在于缺乏结构的综合能力。只有形象思维才能综合出新的结构。这也许就是创造和学习最终必须有形象思维参加的原因。

形象思维的研究是一项任重道远的工作。本节仅对其中的信息模型及其彼此关系作了初步分析。大量的工作，如形象思维的过程、所含的操作、所具的规律、在各种应用中所呈的形态等等都待研究。但有一点已使作者确信无疑，这就是形象思维的研究必将使人工智能和 CAD 踏入一片新天地。

潘云鹤

选自《模式识别与人工智能》1991 年 12 月第 4 卷第 4 期。

13.3　一个类比推理的认知模型[①]

13.3.1　引言

众所周知，在人工智能领域，演绎推理技术已日臻成熟和完善，归纳推理的研究也以 BACON 程序为标志取得了引人瞩目的成就，而有关类比的工作则相对薄弱。当然，在这方面也有许多有趣的工作，如美国人工智能学家 Winston (1979) 就曾提出一种可以通过类比对诸如“某人像救火车”这类比喻作出理解的智能系统。

在人工智能中，学习是一个十分重要的研究领域。在这里，是把学习作为一个高度概括性的术语来使用的，用它指谓人（和计算机）增长知识和改善技能所

① 该文献被第八届国际逻辑学、方法论和科学哲学大会论文评审委员会录用，应邀参加大会，在会议上宣读。——编者

经由的历程。人工智能学家往往把类比和归纳纳入有关学习的研究领域来考察。依据比较公认的观点，学习可大致分为四种基本情况，即：

① 机械学习（rote learning）。

② 借助告知学习（learning by being told）。

③ 从例子中学习（learning from examples）。

④ 借助类比学习（learning by analogy）。

这些学习方式都涉及与相似性有关的问题，类比这种富有创造性的学习方式就更是如此。Poul R. Cohen 和 Edward A. Feigenbaum 编著的《人工智能手册》第三卷对借助类比的学习做过如下解释："如果系统具有可用以执行一项有关任务的知识库，它就有可能借助于识别相似性以及从别的知识库中调用相关的知识来改善其自身的行为。"他们举例说，"假定一个程序有一个可供它使用的描述如何诊断人类疾病的知识库而又有人想要用这同一个程序对计算机系统的故障作出诊断，通过发现适当的相似性，程序就能推出计算机故障（"疾病"）的类型以及可能的解决办法（"疗法"）。由于找到了相似性（例如，可把 X 光透视类比为主存储器信息转储），就可以调用该诊断过程"。该手册中未列出有关这方面的文章，其理由是，该领域尚未受到较多的注意。他们指出，困难在于，尚存在一些有待解决的研究课题，它们是：

① 相似性究竟是什么？

② 如何识别相似性？

③ 如何从相似的知识库中调用相关的知识以及如何运用它们去完成想要完成的任务？显然，这是一些带有根本性的困难问题。

相应地，类似的情况在知识工程或有关专家系统的理论研究中也出现了。正如 Hayer-Roth、Waterman 和 Lenat（1983）所指出的，"还有一些特点，它们对于人工专家系统概念的影响还不清楚。这些特点是专家具有的，也许由于它们是人或者非专家都具有的一般智能。"

具体地说，应注意专家们的下述特点：

① 从未来的经验中学习（成为更高的专家）。

② 更新知识。

③ 获取一般知识。

④ 有共同意识——涉及所有领域。

⑤ 可以用模拟方法推理。

不难看出，其中第五点直接与类比有关，第四和第一点也与类比相关。

综上所述，在人工智能和知识工程中，类比推理技术是一项有待进一步解决的十分重要的课题。目前，日本等国都已提出并正在研制新一代计算机，即所谓第五代计算机，中国科学家钱学森更提出要研制第一代智能机。许多代表人类智

能最高成就的重大科学发现都源于类比，如果未来的智能机具有模拟人类类比推理的功能，就有可能代替人去发现新的科学规律和提出新的科学假说。由此看来，有关类比的研究在理论和实践上的意义就是不言而喻的了。

如何进行类比这个问题并不仅仅囿于人工智能的学科范围之内。人工智能在类比方向上的研究之所以相对迟缓也许不能完全归因于该学科的内部因素，而是在相当大的程度上源于对人脑类比机制的知识还较为匮乏——人们还未能构造出较为令人满意的描述类比过程的认知模型。

事实上，许多学科都对类比感到极大的兴趣，并由其特殊的学科目的出发，从不同侧面对类比加以研究，取得了有价值的成果。

首先，现代科学哲学家已开始把目光转向了类比，认为重大科学发现的最初猜想，或可称之为导致崭新概念和命题的灵感或直觉往往源于类比。

此前，科学哲学主要从事所谓“科学方法（scientific method）”和“科学动力学（science dynamics）”的研究。“科学方法”的本意是指科学认识活动所遵循的程序。科学哲学界在相当长的一段时间里持有如下公认的观点：不存在具有普遍性的发现和发明的程序，Feyerarbend 更持一种极端看法，认为“科学无方法可言”。因此，在科学哲学中，术语“科学方法”的语义一度曾发生改变，主要是指对科学成就的评价方法或选择方法。这种科学哲学观和以往哲学认识论的差异之一，就在于它取消或忽视了对于科学发现方法的研究。认为不存在发现和发明的机械程序或万无一失的方法固然有其正确的一面，因为从某种意义上说，科学活动乃是持续进行着的试错过程。然而，不能因此就取消对科学发现方法的研究。最近一个时期以来，这种倾向已开始有所扭转，越来越多的科学哲学家像他们较远的前辈一样，开始把目光重新指向科学的发现过程，而不再仅仅满足于研究对这种精神活动的最终产品作出评价和选择的方法了。

新历史主义学派的代表人物夏佩尔扩展了理性活动的内涵，认为一切依据具有相关性、成功性和无怀疑性的“理由”而进行“推理”的认识活动都属于理性活动。他还提出了“信息域”理论，试图解释科学发现的过程。其要旨在于，从一组有内在联系但缺乏一致性的信息（信息域）出发，主要运用溯因法，通过复杂的推理，特别是充分运用类比去构造新理论。该学派的达尔顿更在此基础上提出“科学域（scientific field）”与“科学领域际（scientific interfield）”理论。“科学域”是若干“信息域”的集合，“科学领域际”则指不同学科之间的类比和移植。“科学域”理论的主旨在于扩大溯因法的“基底”，“科学领域际”的主旨则在于加强类比的广度、深度和创造性。值得注意的是，在跨学科方法论中，还提出一种所谓“演化性系统方法（evolutionary system method）”，十分重视形象思维，着重讨论了与类比密切相关的“科学隐喻法（scientific metaphor method）”。当然，真正意义上的科学发现方法的研究不能仅仅停留在“类比”或与其

相关的概念上，因为这不过是使用新的术语重新回到旧有的命题上罢了。例如，黑格尔就把类比评价为“理性的本能”，说“类比的方法很应分地在经验科学史上占很高的地位，而且科学家也曾依照这种推论方式获致很重要的结果。”康德也认为，“每当理智缺乏可靠论证的思路时，类比这个方法往往能引导我们前进”。莱布尼茨更对有关相似性的问题进行过深入探讨，甚至认为“大自然中的一切都是相似的”。他在谈论人的智慧时说，“我们必须使自己习惯于进行类比，即对两个或两个以上极其不同的事物，找出它们的相似点。”然而，也正如他所指出的，“通常人们对于什么是相似或不相似并没有清楚的观念。”令人遗憾的是，这种状况迄今并没有发生实质性的改变。这也许正是钱学森同志高度重视相似论的研究，期待形象思维研究能由思辨走向科学的原因所在。总之，现代科学哲学要在科学发现的类比方法的研究上取得深入进展，就需要逐步过渡到以类比的认知模型为必要的科学工具，否则，就难以摆脱它所拒斥的纯粹的思辨或形而上学的纠缠，这样才有可能进而揭示在五光十色的科学发现现象背后存在的内在规律。

其次，心理学理论也有一些涉及类比的研究，在我们看来，皮亚杰的发生认识论就是其中比较具有代表性的一个。他为说明认识的发生或者说知识的形成与发展提出四个基本概念，即图式、同化、顺应和平衡。其中，图式是一个核心概念。图式可理解为动作的结构或组织，这些动作在相同或类似的环境中由于重复而引起迁移和概括。在他看来，个体之所以能对刺激作出各种反应，是由于它具有能够同化这种刺激的某种图式。图式起初得自于遗传，在适应外界环境的过程中，图式就不断地变化、丰富和发展起来。同化和顺应是个体适应环境的两种机能，其中同化是指把实体纳入机体已有的图式之中，以加强和丰富主体的动作，这只能引起图式的量的改变。顺应则是指在主体的图式不能同化客体时，调整原有图式或创立新图式的过程，他认为这将导致图式在质上的改变。他为同化和顺应下的定义是：“刺激输入的过滤或改变，称为同化。内部图式的改变以适应现实，称为顺应。”他认为，个体每遇到新的情境，总是试用原有图式去同化之，如成功则达到认识上的平衡，反之就作出顺应，调整原有图式或创立新图式去同化新的事物，直至达到认识上的新的平衡。他说：“智慧行为是依赖于同化与顺应两种机能从最初不稳定的平衡过渡到逐渐稳定的平衡”。这种平衡水平不断提高的过程就是认识结构形成和发展的基本过程。皮亚杰的发生认识论的确为从宏观上描述认知的发展提供了一个鲜明的画面，具有深刻的启发意义。我们体会，在某种意义上，顺应乃是一种特殊类型的同化。因为调整原有图式或创立新图式离不开以更具概括性的图式去同化新的情境。换言之，同化是更为基本的概念，其中导致调整原有图式或建立新图式，亦即增加新知识的同化即为顺应。这一看法源于我们对认知过程的相似原理的认识（张光鉴，1985；张铁声，1985），它

也许有助于使原有理论更具有简单性和统一性。图式的信息结构以及同化与顺应的内在机制究竟是什么？在认知发展的宏观描述背后起作用的信息处理过程是什么？这就是皮亚杰学说催人进一步追问的问题。在我们看来，类比与同化有关，同时也与顺应有关，因而建构类比的认知模型有助于在更深的层面上对皮亚杰的发生认识论作出解释或必要的补充和修正。

在形式逻辑中也曾着重考察过类比推理，把类比推理解释成“从两个对象（现象、过程）的某些类似特性和一个对象的已知特性推出另一个对象也具有这个类似的特性”的推理过程，并且给出了类比推理的形式：

A 对象具有属性 a、b、c、d

B 对象具有属性 a、b、c

因而 B 对象可能具有属性 d

也有人以为这个形式过于死板，难以概括谓词不相同情况下的类比推理实例，就在此基础上提出如下的类比推理形式：

A 对象具有属性 a、b、c、d

B 对象具有属性 a'、b'、c'

a、b、c 分别与 a'、b'、c' 相似

因而 B 可能具有与 d 相似的属性 d'

还有人认为上述两种形式仅限于有关性质或者说一元谓词的情况，不够全面，提出要把多元关系或者说多元谓词引入，提出下列推理形式：

A 与 B 和 X 与 Y 之间具有类似关系 R

A 与 B 之间有关系 S

因而 X 与 Y 之间有关系 S

除了上述以及类似的类比推理形式之外，传统逻辑还考察了提高类比可靠性的途径或方法。例如楚巴欣和布洛德斯基提出，“类比结论可靠性的提高，依赖于下列条件：第一，依赖被比较现象中所考察的相似属性的数量；第二，依赖这些属性的本质性的程度。一句话，被研究现象的相似点和区别分析得越详细，类比的结论根据就越充分”。此外，传统逻辑还就类比和归纳、演绎的关系进行过一些讨论。

形式逻辑提出了类比推理的若干基本形式，并且还在继续进行更深入的探索，这自然使人想到，与演绎的有效推理式相比，类比推理式的数量的确过于贫乏，似有进一步扩充的必要。此外，a 和 a' 等属性之间的相似性，实际上已经超越了形式而渗透进了内容上的规定，在作纯粹形式上的考虑时，似应避免非形式的东西混杂其间。还有，有关增加类比可靠性的条件的确十分深刻，但这些内容也同样越出了康德对于形式逻辑的理解。最后，在某种意义上，给出两个相似事物之后，类比推理本身相对而言并不太难，难就难在提出问题以后如何搜索满

足上述可类比条件的一组知识，这是一个与形式逻辑有关而又超越了其学科范围的重要问题。无疑，在构造形式与内容相统一的类比认知模型时，上述几个方面的问题都应该予以适当的体现和某种程度的解决。

以上不完全的叙述表明，许多学科都从特定角度对类比作了考察并且取得了研究成果。然而由于它们都不可避免地受到本学科目标的限制，所以，建立类比的认知模型的任务，就必须在继承和综合上述各个学科成果的基础上，由思维科学和认知科学来完成。

本文拟从认知科学的角度出发，尝试提出一个类比推理的认知模型，并使之尽可能与其他学科的有关理论保持协调。

认知科学创始人之一 Simon（1981）认为，通常称之为直觉的东西就是专家通过识别解决熟悉类型的问题的过程。他指出："专家在日常工作中面临的大多数问题是他们在以前已经多次遇到过的，或者遇到的问题虽然和以前曾解决过的问题不完全相同，但大致和以前的问题属于同一类型，并且大致可以用相同或类似的方法来解决"。在 1985 年为欢迎 Simon 教授讲学而举行的思维科学学术讨论会上，他对作者提问时所持有的观点表示赞同，说他的直觉告诉他，达尔文之所以在阅读马尔萨斯人口论时想到生物进化的原理是因为问题情境与人口论中论述的某些内容同构。他说，这是一个他以前未想到过的有趣的提问。这似乎说明，识别出一个与问题情境在结构上相似的信息单元并依据这种相似性以相似信息单元中的对应信息项填补问题情境中的相应缺口在高度创造性的问题解决——即科学发现中起着不可忽视的作用。在某种意义上，这一过程也是符合格式塔学派的整体性原则的。类比的过程即属此类过程。在《相似论》（张光鉴，1985）中曾用"相似块"来指称与问题情境相似的知识单元，我们将在本文中沿用这个概念。现在我们的问题可以粗略地概括为：

① 相似块，更具体地说就是可以用于类比的相似块究竟是什么？

② 如何搜索相似块？

③ 如何用相似块进行类比？

本节拟对此给出一个初步回答，它也许远非完善和理想，然而却可能是一个有益的尝试。文中难免存在不妥甚或错误之处，欢迎来自各个方面的批评和指导。

13.3.2　背景知识

在正式讨论之前，我们想概略地介绍一下与本文有关的知识。依据我们的理解，较理想的认知模型不仅要与其原型——人脑在功能上相似，而且还应在动态过程上具有某种相似性。既然如此，一个理论是否具有心理实在性就不能不成为我们是否选择其作为背景的条件之一。众所周知，依据模糊数学模型编制的程序

能够模拟人的某些思维过程，因此已在人工智能领域得到较为广泛的应用。不过，恰如模糊数学的开创者 Zadeh（1975）所言，他的理论基于这样一种观点，即“语言方法本质上并不是完全定性的，说得恰当一点，计算是在某种布景后面执行的，而且，语言近似用来把数换成字。”他举例说，在语言变量容貌的情况下，我们没有一个精确定义的基础变量，即，我们不知道如何表达美的程度。比方说，费依为 0.9，阿黛尔为 0.7，凯西为 0.8，而维拉为 0.9；一致性函数的这些值建立在印象的基础之上，我们无法用清晰的术语加以表达或加以形式化。换言之，一致性函数不是建立在数学上有精确定义的目标的集合之上，而是建立在加上标注的一些印象的集合之上。这种定义对人类是有意义的，但对计算机至少没有直接的意义。所以，为了使机器在功能上模拟人，使用给人的美色打分这样一种不得已的做法，以便建立模糊数学模型并加以计算是可以理解的。但这并不是说，人类思维在本质上全部可以归为数值计算，这与 von Neumann 有关人脑和计算机存在差异的思考是有距离的。我们认为，模糊的东西不妨就以其本来的面目予以处理，这样可能更接近人类思维的实际。

人脑在某种程度上可视为基于知识的信息处理系统。既然人类智能以知识为核心，欲寻求接近于人的认知模型就不能不从知识表示人手。值得注意的是，一些人工智能学家也认为新的知识表示方法可能导致人工智能研究取得实质性进展。

我们拟先从考察具有心理实在性的知识表示理论人手，分析其长处和不足，然后再以此为基础，设法扩展知识表示方式，进而提出相似块的搜索、匹配方式以及基于相似块的推理模型。

在已有的知识表示理论中，语义网络和概念依存（conceptual dependency，CD）理论已取得公认的成就，并被认为具有某种意义上的心理实在性。

许多人工智能系统都使用语义网络这种知识表示形式。这一表示形式最早是心理学家作为人类记忆的心理模型提出来的，现在仍然是心理学家的研究对象。Quillian、Anderson 和 Bower，以及 Norman 和 Rumelhart 都在这方面做了很多工作。人工智能学家感兴趣的是从实用观点出发研究为他们的系统所需要的语义网络。由于目标不同，所以没有对有所①语义网络系统都适用的统一的简单原则。然而，正如 Avron Barr 和 Edward Feigenbaum（1982）所指出的，所有语义网络表示都具有如下共同之点，即它们都由结点（图示时可画作点、圆圈或方框）和连接结点的弧（或链，可带箭头）所组成，在结点和弧线上注有标记。结点通常表示论域中的对象（objects）、概念（concepts）或情况（situatlons），而弧则表示它们之间的关系（relations）。

---

① “有所”应为“所有”。——编者

下面这个语义网络（图 13-14）选自 Norman（1982）的著作。

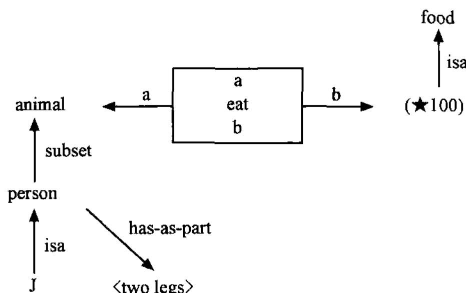


图 13-14　语义网络一例

food：食物，eat：吃，animal：动物，subset：包含于，person：人，has-as-part：有，isa，是，two legs：两条腿

构成语义网络骨架的实际上是 Norman 所谓的谱系，亦即由特殊的关系 subset 和 isa 连成的子网络，它们分别表示概念之间的“子集”和“实例”关系。这样的子网络如图 13-15 所示，它构成一个谱系。

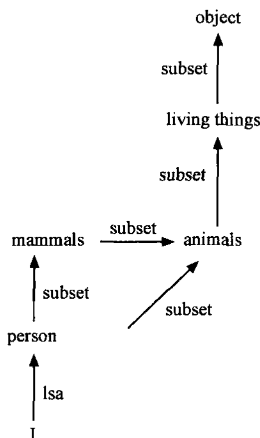


图 13-15　语义网络上的谱系

object：实体，living things：生物，mammals：哺乳动物

语义网络的重要性质“遗传”，就主要体现在谱系的子网络上，即一个概念的属性可以遗传给它的子孙——亦即它的实例或子集。如果 A 是 B 的实例或子集，又假定 B 对 C 有关系 r，则 A 对 C 也有关系 r，如图 13-16 所示。

正因为如此，Norman 称语义网络不仅是知识表示而且也是引导推理的强有力工具。

谱系子网络之所以具有如此重要的性质，是因为 subset 和 isa 与别的关系有

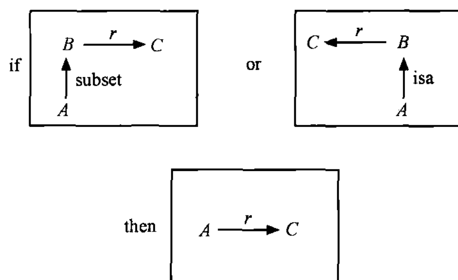


图 13-16　语义网络的重要性质——“遗传”
if：假如，or：或者，then：那么

所不同，是特殊的关系，它们刻画了两个概念本身的关系，具体地说，是两个概念的外延之间的关系，而不仅仅是两个概念所指称的对象之间的关系。这提示我们，在各种关系中，尤为重要的是概念本身之间的关系。因为它们反映了内在的必然联系，而不仅仅是外在的偶然联系。

在一般的语义网络中，关系是指论域中对象之间的关系，这就导致了一个缺陷，即忽略了关系之间的关系，特别是描述关系谱系的关系，而这样的关系又恰恰是概念本身之间的关系，因而可能是极为重要的关系。

语义网络是人类记忆中抽象知识表示的基本心理模型之一，它在解释某些推理过程方面所获得的成功给人留下了深刻的印象。如果进一步扩展语义网络这一知识表示形式，使其可以表示关系之间的关系，特别是关系谱系，就有可能加强其功能，从而对更为有趣的思维现象作出解释。

在知识表示领域中，有一个主要用来表示自然语言中句子意义的理论，即前述的 CD 理论。这种理论所提出的表示方式有两个特点：

便于从句子作出推断；

独立于原来用以陈述句子的语言。

这个理论是 Schank（1973）开创的，1975 年，他又依据该理论在美国斯坦福人工智能试验室研制出了 MA-RGIE 系统（mean-ing analysis，response generation and inference on English），提供了自然语言理解的一个直观模型。然而，在此之前，这一理论一度被认为“还没有成为可以直接执行的程序形式，而且其算法也尚不明确”，只是引起了心理学家的关注。

CD 理论的主要原理有三：

第一，用任何语言表述的句子，只要其意义相同，则其意义表达式只有一个。

第二，CD 理论表达式中含有有限个语义基元（semantic primitive）。语义基元有两类，即基本行为和基本状态。

第三，在句子的意义表达式中，须把隐含在句子中的信息尽可能显示出来。

Schank（1977）列出的 11 个基本行为是：

ATRANS——抽象关系的转移（如“给”）；

PTRANS——对象的物理位置的转移（如“去”）；

PROPEL——对对象施加物理力（如“推”）；

MOVE——移动自身的一部分（如“踢”）；

GRASP——行为者控制对象（如“扔”）；

INGEST——动物摄入对象（如“吃”）；

EXPEL——从动物体内排出东西（如“哭”）；

MTRANS——精神信息的转移（如“告诉”或“观看”）；

MBUILD——由旧有信息中构造新信息（如“决定”）；

SPEAK——发出声音（如“说”）；

ATTEND——感觉器官注意某种刺激（如“听”，在 Schank 的较早著作中被称为 CONC）。

值得注意的是，这些基本动作的确概括了一类具有较大相似性的动作，有许多动作可以分别“隶属”于它们。换言之，与这些基本动作相应的关系可能位于关系谱系中较高的层次（当然未必是最高的层次，因为那可能是某些哲学范畴的位置）。

Schank 认为，CD 理论具有一定的心理学效应，它可以反映人们认知活动的直觉概念。心理学实验业已证实，虽然我们能很好地记住刚刚听到的东西，但往往不能用同样的语词来加以重复。这似乎说明，人们对句子意义的记忆往往依赖于深层的内部结构，而不是句子本身的外在形式。在这个意义上说，Schank 的理论的确具有心理实在性。

CD 理论虽然是在有关自然语言理解的研究领域中提出来的，但它的基本思想中的某些精华对于有关学习和推理的领域同样具有启发意义。

13.3.3 二阶语义网络

Newell 指出，迄今为止，人工智能和计算机科学对于认知科学的综合体最基本的贡献是物理符号系统的表示，即能够拥有并处理符号，而且在物理空间中已经实现的各类系统的概念。Hayer-Roth、Waterman 和 Lenat（1983）则进一步认为，物理符号系统假设的突出的伴随物就是知识表示作为该领域的中心课题出现。换言之，就是这一领域有一个工作假设，即知识是可以表示的，也就是说，知识在很大程度上存在于用符号表示的有关世界的事实中。笼统地说在该领域，具体地说在专家系统工作中，它成为一个中心假设。这方面的注意力不断地集中在表示的基本问题上，尤其是集中在逻辑基础上和作为表示媒介的一阶谓词

演算上。

我们从这一中心假设出发，不难得出语义知识，特别是有关关系之间的关系的语义知识也可以表示的结论。根据前面一系列的讨论，我们的直觉提示我们，这种知识的表示对于相似性识别，对于类比和隐喻甚至归纳都是至关重要的，因而有必要对此建立一种表示方式。我们不妨把关系之间的关系称为二阶关系，其中最主要的类型即上文提及的隶属关系以及与之密切相关的相似关系。原则上说，二阶关系的表示可以采用任何一种合适的形式，本文拟采用较为直观的语义网络形式。表示二阶关系的语义网络可称为二阶语义网络，为便于区别，可把原有的语义网络称为一阶语义网络。二阶语义网络表示的是谓词的内涵之间的关系。

语言学和形式逻辑中的某些理论与我们将要讨论的东西有关，回顾一下这方面的内容是有益的。

有关词义的研究，一直是许多心理语言学家感兴趣的课题。Brierwisch、Katz、Fodor、Weinreich、Lakoff、Lyons、McCawley 对成分分析法（componential analysis）加以研究。这些研究基于这样一种观点，即词义可分解为一些语义特征（semantic feature），通过对于语义特征的分析可以确定词与词之间的某些关系。这些关系是：

① 同义。如果两个词的语义特征相同，它们之间的关系就是同义关系。

② 反义。如果两个词的语义特征只有最后一对不同或是互相排斥，它们之间就具有反义关系。

③ 逆义。如果两个词之间有一对语义特征不同，而这两个特征表示的是可逆转的关系，则这两个词就是逆义关系。

④ 下义。如果一个词具有另一个词的所有语义特征，同时又具有为其独有的若干语义特征，则这个词就是与另一个词有下义关系。

在我们看来，下义关系是非常重要的关系。说两个词之间有下义关系，其意义是有限的，而当我们说两个词同时与另一个词有下义关系时，就揭示出了这两个词之间的相似性或相似关系；特别是，当把某个词的集合中的元素都依据其隶属关系构成一个谱系时，就更容易看出这个词的集合中各个元素之间的相似性及其相似程度。这方面的研究似有进一步深入的必要。当然，对于我们来说，目前更关心的是谓词，而不是词汇。但类似的情况在那里也同样存在。

形式逻辑所考察的两个概念之间的关系实际上是这两个概念的外延之间的关系。它们是：

① 全同关系。如果所有 a 都是 b，同时，所有 b 都是 a，那么 a 与 b 就有全同关系；或者说，a 全同于 b；或者说，a 与 b 是全同的。

② 上属关系。如果所有 b 都是 a，但是，有的 a 不是 b，那么，a 与 b 就有上属关

系；或者说，a 上属于 b。

③ 下属关系。如果所有的 a 都是 b，但是，有的 b 不是 a，那么，a 与 b 就有下属关系；或者说，a 下属于 b。

④ 交叉关系。如果有的 a 是 b，而且，有的 a 又不是 b，而且，有的 b 又不是 a，那么，a 与 b 就有交叉关系；或者说，a 交叉于 b；或者说，a 与 b 是交叉的。

⑤ 全异关系。如果所有 a 都不是 b，那么，a 与 b 就有全异关系；或者说，a 全异于 b；或者说，a 与 b 是全异的。

a 与 b 有上属关系等价于 b 与 a 有下属关系。与有关词的关系的讨论相似，如果两个概念同时下属于某个概念，则可揭示这两个概念之间具有某种相似关系；进一步，如果依据这种下属关系把某个论域中的元素联成一个谱系，则可刻画这些概念之间存在的相似性及其相似程度。

两个关系之间的二阶关系可依据其内涵之间的关系加以描述。两个 n 元关系 P、Q 之间亦可能具有如下五种关系：

① 全同关系。如果仅仅依据 P 和 Q 的内涵，有，任一指派 β 满足 $P(x_1,x_2,\cdots,x_n)$，当且仅当 β 满足 $Q(x_1,x_2,\cdots,x_n)$，则可称 P 和 Q 全同。

② 上属关系。如果仅仅依据 P 和 Q 的内涵，有，任一指派 β 满足 $Q(x_1,x_2,\cdots,x_n)$，则 β 满足 $P(x_1,x_2,\cdots,x_n)$，反之则不然，则可称 P 与 Q 有上属关系。

③ 下属关系或隶属关系。如果仅仅依据 P 和 Q 的内涵，有，任一指派 β 满足 $P(x_1,x_2,\cdots,x_n)$，则 β 满足 $Q(x_1,x_2,\cdots,x_n)$，反之则不然，则可称 P 与 Q 有下属关系或隶属关系；亦称 P 隶属于 Q。

④ 交叉关系。如果仅仅依据 P 与 Q 的内涵，有，存在指派 β 同时满足 P 和 Q，也存在指派 β' 和 β''，β' 满足 P 而不满足 Q，β'' 满足 Q 而不满足 P，则可称 P 和 Q 有交叉关系。

⑤ 全异关系。如果仅仅依据 P 和 Q 的内涵，有，不存在指派 β 同时满足 P 和 Q，则可称 P 和 Q 有全异关系。

如果依据隶属关系建立 n 元关系的谱系，则不仅可以描述关系的隶属关系，而且也可以描述 n 元关系之间存在的相似关系及其相似程度。值得注意的是，二阶关系揭示了关系的内涵之间的逻辑联系，而不仅仅是物理世界中真实关系之间的现实联系。附带说一句，二阶关系谱系和一阶网络上的对象谱系不同，具有也许可称之为“逆继承”的性质，亦即任一 n 元关系可以把满足它的 n 个对象“奉献”给更抽象的“长辈”。

就一个智能系统而言，其内部所表示的关系是有限的，也是独特的；依据其隶属关系而形成的关系谱系也是有限和独特的。这样的谱系所揭示的二阶关系不能不对该系统的认知能力有所制约。

设有 m 个彼此无全同关系的 n 元关系做成的集合 $\{p_0,p_1,\cdots,p_{m-1}\}$，简记为

P。其中，p_0 为 n 元关系“具有 n 元关系”。显然，任一 p_i 至少隶属于 p_0。若一 p_i 隶属于 p_j，且不存在任一元素 $p_k \in P$，p_i 隶属于 p_k 且 p_k 隶属于 p_j，则称 p_i 和 p_j 之间的隶属关系为 P 上的最近隶属。若以 m 个结点分别表示 $p_0, p_1, \cdots, p_{m-1}$，将有最近隶属关系的结点 p_i、p_j 以有向弧连接，就构成一有限有向图 G，此有向图可称为关系集合 P 上的二阶语义网络。显然，该有向图无孤立结点，且任一 $p_i \neq p_0$ 皆为有向弧的起点（p_0 不是弧的起点），因为任一 $p_i \neq p_0$ 皆隶属于 p_0。显然，图 G 无有向回路，p_0 是 G 的根。总之，在理论上图 G 应是一个以 p_0 为根的不含有向回路的有限有向图。

如果 P 中任一元素 $p_i \neq p_0$ 仅最近隶属于一元素 $p_j \in P$，则 G 中每一结点 $p_i \neq p_0$ 都恰是一条弧的起点，此时图 G 即为有向树。

由于对任一图 G 中同起点的有向弧可加权处理，G 总可以化为若干有向树，所以我们主要讨论二阶语义网络为有向树的典型情况。该树如图 13-17 所示。

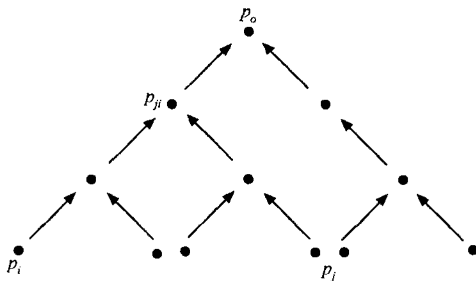


图 13-17　二阶语义树示意图

值得注意的是，就一个具体的智能系统而言，未必有此完善的知识结构。它可能只有非常有限的 n 元关系，并且也未必全都以上述原则联成完整的谱系，因而可能是非连通的。但对某个特定的关系而言，仍有其亲属，所以以下的讨论将不失一般性。

设 G 为二阶语义树，以 G 上任意结点 $p_i \neq p_0$ 为起点，以 p_0 为终点有且仅有一条有向路。设 $p_i \neq p_0$ 为 G 上特定结点，$p_j \neq p_0$ 为 P 上任一结点，分别以 p_i、p_j 为起点，p_0 为终点就唯一地确定了两条有向路 P_iP_0 和 P_jP_0；此两条有向路的交一般仍为一条以 p_0 为终点的有向路，此有向路的起点可称作 p_i 和 p_j 的汇合结点；如果这两条有向路的交不是有向路，则就是 p_0，此时称 p_0 为其汇合结点。p_j 和 p_i 的汇合结点记作 p_{ji}。p_j 与 p_i 的汇合结点显然在有向路 P_iP_0 上，因此，形象地说，任一 p_j 与 p_i 的汇合结点可能是 p_i 本身，也可能是 p_i 的长辈结点。在二阶语义树上，p_j、p_i 及其汇合结点 p_{ji} 都表示关系，显然可以用 p_{ji} 来刻画 p_j 与 p_i 的相似性。

关系 p_j 和 p_i 的相似性表现在它们所刻画的东西都可以用一个关系 p_k 来重新表述。一般而言，p_k 较之 p_j 和 p_i 都更为概括（也可能相同）。在 G 上，p_k 可以是且只

能是有向路 p_jp_0、p_ip_0 的交上的任一关系，而 p_{ji} 显然是这些关系中最为具体，因此内容也最为丰富的一个。所以，用它来刻画 p_j 与 p_i 的相似性是适当的。

对 G 上某个关系 $p_i \neq p_0$，任一关系 $p_j \neq p_0$ 与 p_i 的相似性可用 p_{ji} 来刻画，而 p_{ji} 又在有向路 P_iP_0 上，所以任一结点与 p_i 的相似性皆可用 p_i 或其“长辈”关系来刻画。这样，就可以依据 G 上的关系对于 p_i 的相似性将其划分为有限个相似类，这些相似类的特征关系分别为 p_i 本身，p_i 的父亲、祖父、曾祖等，最后一个即为 p_0。如果把 p_i，p_i 的父亲，p_i 的祖父 …… 分别与其子孙作成的集合，依次用 $S_1, S_2, \cdots, S_r$ 来代表，则 $S_1, S_2-S_1, S_3-S_2, \cdots$ 都是对于 p_i 的相似类，其中每个类中的所有元素与 p_i 的相似性皆可用该类中的特征关系，亦即 p_i 或其“长辈”关系中的一个来刻画。

这样，在二阶语义树 G 上，任给一个关系 $p_i \neq p_0$ 就唯一地确定了 q 个对于 p_i 的相似类，其中 q 为有向路 P_iP_0 上的结点个数。以下分别用 $S_{i1}, S_{i2}, S_{i3}, \cdots$ 分别表示以 p_i 本身，p_i 的父亲、祖父、曾祖等为特征关系的相似类。显然，$S_{i,m-1}$ 中的关系，较之 $S_{i,m}$ 中的关系与 p_i 更为相似，可以把 $S_{i,m}$ 中的关系与 p_i 的相似度规定为 m。这样，对于 G 上的一个关系 $p_i \neq p_0$，G 上的任一关系都与之相似，但相似程度则不尽相同，其相似度可以是 $1,2,\cdots,q$。应当说明的是，对某一智能系统而言，这种对于相似度的把握，乃是对客观相似度的“主观”把握。

以上关于二阶语义网络的讨论可以很容易地推广到一阶语义网络上的谱系子网络上去。谱系子网络实际上是一个有根且无有向回路的有限有向图，可以简化为有向树，亦即通常所谓的分类树来考虑。以任一结点表示的实体或概念为参照，其他结点表示的实体或概念与它均具有不同程度的相似性，并且可以依据汇合结点与它的距离对相似的程度作出大致的估计。

由二阶语义网络和一阶语义网络以及在它们之间连接同名关系的双向弧共同组成的网络可称为扩展的语义网络，如图 13-18 所示。

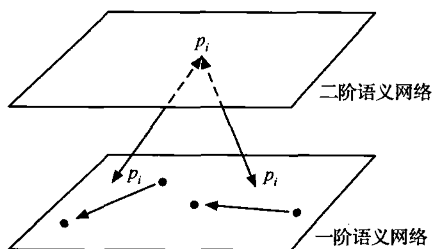


图 13-18　扩展语义网络示意图

图 13-18 中，上面的平面上为二阶语义网络，下面的平面上为一阶语义网络，上平面和下平面之间的双向弧的端点分别为二阶语义网络上的结点（即关系）和一阶语义网络上的同名关系。从二阶语义网络的一个结点上可能引出若干

条双向弧与一阶网络上的若干同名关系相连。

扩展语义网络也可以另一种形式表示，如图 13-19 所示。图中，关系和对象的谱系分别在上、下两个平面上，而表示对象之间现实关系的命题网络则处在中间平面上。

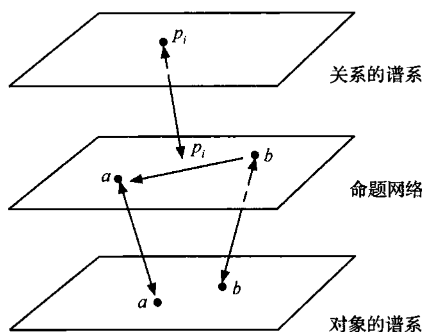


图 13-19　扩展语义网络的另一种表法

13.3.4　相似匹配

本节所谓的相似匹配是就一阶语义网络上的两个子网络而言的。所谓相似匹配有别于通常理解的匹配。我们深深感到，为了对类比的认知模型作出比较合理的描述，的确不应再拘泥于已有的匹配概念，否则，就会使类比丧失任何意义。必须提出新的概念，并使之具有更大的灵活性，以揭示两个网络之间在深层语义上的相似性。

Nilsson（1980）指出，匹配操作类似于合一，对利用结构化事物作为产生式系统的综合数据库来说，匹配是基本的操作。由于结构化事物只不过是谓词演算形式化的另一种形式，所以，他认为如下的定义是适宜的：两个事物匹配，当且仅当与其中之一相关的谓词演算公式同与另一事物相关的谓词演算公式能够合一。他又指出，由于匹配操作通常是不对称的，所以有必要考虑弱的匹配定义：目标事物与事实事物相匹配，如果含有目标事物的公式与事实事物的一些公式中某一个子合取式合一。这种匹配表现在语义网络上，就是对应的关系必须形式相同，已知对象的对应结点也必须形式相同。Nilsson 指出，在任何的表示形式中，对基本上相同的信息往往存在几种可供选择的表示方法，由于结构匹配的定义建立在结构的精确形式之上，所以当作不同选择时，会得不到精确的匹配。如图 13-20中的两个网络表示的都是“John Jones is married to Mary Jones.”，语义完全相同，依据句法规则，它们却是不能匹配的。

为克服此种不足，使用结构化事物的一些人工智能系统完善了匹配操作，它利用有关应用范围的专门知识可以使上述那些结构匹配。这些系统具有通常所说

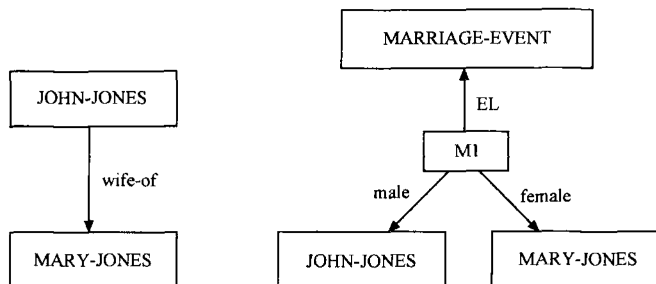


图 13-20　两个不匹配的等价结构

JOHN-JONES：约翰·琼斯，wife of：……的妻子，
MARY-JONES：玛丽·琼斯，MARRIAGE-EVENT：结婚事件，
EL：属于，M1：结婚事件 1，male：男性，female：女性

的“语义匹配器”的功能，也就是说，如果两个结构的含义是同一回事，匹配器就能断定两个结构相同。

然而，如果把匹配仅仅限制在语义相同上，显然难以使有关类比的研究取得实质性进展。为此，就有必要扩展原有的概念，以便使两个语义相似的知识单元能够匹配。

在类比中，有待解决的问题以及与该问题涉及的对象直接有关的已有知识可以表为含有变量的语义网络，可称为问题网络。而用以类比的具有相似性的知识单元也为一语义网络，可称为类比网络。

在图论中，如果两个图的结点之间存在着保持结点相邻性以及边的方向（若有的话）的一一对应关系，则称这两个图是同构的。按照图的同构定义，在弧之间也存在一一对应关系。问题网络和类比网络作为纯粹的图具有同构关系是这两个网络所表示的内容可以类比的必要条件。然而，这两个网络又不仅仅是图，它本身及其结点和弧都是有其内容的，这表现在结点和弧上所标出的对象和关系上。两个网络在图论意义上的同构仅仅说明它们所表示的内容在逻辑上的某种同型性，却不能对其语义上的相似性有所揭示。为此，就必须从形式相似过渡到内容相似，考虑对应结点所示对象之间的相似性以及对应弧所示关系之间的相似性。前者，有助于体现形式逻辑上提出的类比双方本质联系的程度；后者则有助于揭示在不同领域的不同术语背后隐藏着的所谓同一性亦即相似性。这些都是人能够凭借其语义知识直觉地把握的东西，但机械的匹配却难以模拟和体现这种能力。看来，把两个网络的相似匹配作如下理解是适宜的：

① 同构（或者说结构相似）。

② 对应结点所示对象相似。

③ 对应弧所示关系相似。

在②和③中，问题网络上的未知变量及其对应物当然不包括在内。

由于我们以前讨论到 n 元关系之间在理论上普遍存在着的相似性以及在实体或对象之间存在的类似问题，这就使得相似匹配似乎在表面上等价于同构匹配。然而，也正如我们曾说明过的，任一具体的智能系统所含有的谱系知识远非完善，所以对相似匹配所作的规定恰恰可以反映该系统把握相似性事物的状况和程度。就一个有着破碎谱系的系统而言，网络的同构未必意味着对应概念总是相似的。所以，对一个智能系统来说，相似匹配的两个网络总是同构的，而同构的网络却未必是相似匹配的。在这个意义上说，同构匹配并不能体现人类类比机制对于相似性的把握能力和直觉智慧。

由于相似匹配涉及对应对象和关系的相似性，而这种相似性又具有程度上的差异，所以相似匹配也就自然具有不同的相似水平。也就是说，和一个问题网络相似匹配的目标网络未必限于一个，每个类比网络上的对象和关系与问题网络上的对象和关系依据其在谱系树上的亲属关系具有不同的相似度，正是对应结点的相应度和对应关系的相似度决定了相似匹配的相似度。不难看出，具有最高相似度的相似匹配是合一匹配，也就是说，合一匹配乃是相似匹配的特例。

13.3.5　相似优先搜索

联想，尤其是相似联想的确是人类思维中至为重要的现象。从科学史上的发现过程可以看出，相似联想也存在优先问题，即往往是相似程度高的东西先联想到，尔后才由近及远。常常是借助于较高相似度的联想，就能够使问题得到解决。基于这些考虑，在确定类比推理的搜索模式时，就应体现这种由近及远的相似联想规律，以便在尽可能缩小搜索范围的情况下获致问题的解决。这种搜索方式可称为相似优先搜索。

当问题在一阶语义网络上出现后，与问题所涉对象直接有关的知识被激活，并与问题一道构成问题网络。通过一阶网络上的谱系子网络，与问题网络上任一结点有 1 级相似关系的结点即被激活，可用该结点所示概念作为这些概念的附标，表明其间的相似性，以便在以后的相似匹配参照使用。同样，与问题网络上任一关系具有 1 级相似性的关系可以通过一阶语义网络和二阶语义网络之间的双向弧以及二阶语义网络上的关系谱系被激活，同时可将该关系作为这些关系的附标，以便在以后的匹配中参照。当然，结点被激活意味着所示概念被激活，关系被激活意味着有向弧被激活。此时，在一阶网络上就激活了与问题网络不同的许多新网络，可以在这个范围内搜索与问题网络相似匹配的目标网络。每一个使得相似匹配成功的目标网络都可以为问题解决提供具有可能性的猜想，这个问题留待下节讨论。进行过匹配的网络可加上标记，以免重复匹配。如在第一次搜索范围内未能找到满意的解，则可进入第二次搜索。第二次搜索范围为与问题网络的

对象和关系有 1、2 级相似关系的对象和关系构成的网络，上次加上标记的网络不再重复匹配。具体过程和以上描述的过程相同。还可进行第 3、4、……次搜索。第 n 次搜索的范围为与问题网络中的对象和关系有 1～n 级相似关系的对象和关系构成的网络，前 $n-1$ 次匹配过的网络不再重复匹配。在问题得到解决之后，可消去这些标记以便解决新的问题。

显然，第 $n-1$ 次搜索过程中匹配成功的目标网络与问题网络的相似程度比第 n 次搜索过程中匹配成功的目标网络与问题网络的相似程度大。所以，把这种方式的搜索称为相似优先搜索是有道理的。

在相似优先搜索过程中，每一次成功的相似匹配都可以提供一个或几个可能解，此时，搜索过程即行中断，以便通过演绎和归纳等方式对解加以检验。如不满意则搜索可继续进行。在模拟这种过程时，为避免可能无效的搜索，也可设定搜索次数即搜索范围的上限。

13.3.6 猜想的获致

相似匹配成功，意味着找到一个与问题网络同构且对应对象和概念相似的目标网络，此时即可产生一个猜想，或说找到一个可能解。

问题网络一般含有一未知的关系变量。最简单的情况是将目标网络上的对应关系赋予此变量，并将由此生成的新命题作为类比结果输出。但是，由于我们理解的网络相似可以是深层语义上的，所以这种简单处理所得到的未必是有意义的句子，所以有必要作更复杂的处理。

Goldman（1975）曾提出分辨网络概念。它是指一种可用以选择动词意义的二叉树。如基本动作 INGEST（摄入）可用以表示 eat（吃）、drink（喝）、breathe（呼吸），究竟选择那一个词予以输出要根据 INGEST 所涉及的事物的性质来决定。为解决此问题，可用图 13-21 所示的网络来进行选择。

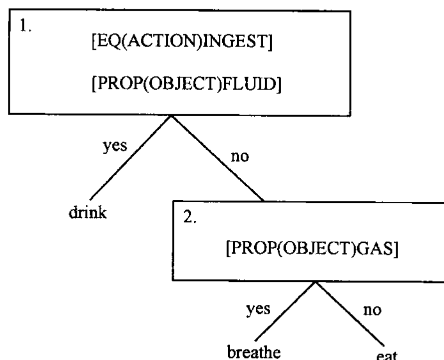


图 13-21　二叉树分辨网络

EQ：等同于，ACTION：行为，PROP：性质，OBJECT：客体，yes：是，no：否

在结点 1 上，如果摄入（INGEST）的客体（OBJECT）是液体（FLUID），则其意义选择选择为 drink（喝），否则，转入第 2 个结点；如果摄入的客体是气体（GAS），则其意义选择为 breathe（呼吸），否则，即可选择 eat（吃）。

类似地，可以用意义分辨网络来为关系变量选择有意义的赋值。选择的范围可以是与关系变量对应的关系及其子孙和祖先，选择的原则则是使关系变量所涉及的客体与关系的赋值组成有意义的句子。这意味着要具有相应的语言知识，这种知识可以用二叉树意义分辨网络来加以表示。

如果有意义的关系不止一个，可以找到一个即行中断并检验之，不满意时可继续选择。

一般而言，较高层次的关系更具概括性，有意义的可能性亦较大，但与此同时得到的猜想也不那么具体，表现为一种具有启发性的提示。

13.3.7　结语

本节通过引入二阶语义网络扩充了原有的语义网络，通过引入相似匹配拓广了原有的匹配概念，依据联想规律提出了相似优先搜索策略，并以上述三个概念为基础建立了一个类比推理的认知模型。这个认知模型只是人的类比推理机制的粗略近似，尚有待进一步完善。

我们认为，这个模型的特点是：

① 它给出了问题产生后，依据相似联想规律由近及远地搜索可供类比的相似知识单元或相似块的搜索方式。

② 它可以解释人为什么能直觉地把握不同概念或知识单元在语义层次上的某些相似性，从而跨越了语义同一这一相对狭窄的界限。

③ 它说明了类比推理在形式上的多样性和灵活性。这主要体现在相似匹配的概念上。

这个模型还显示了类比可能是一系列试错过程，在得到正确猜想之前，可能已有过为数不少的失败尝试。事实上，许多科学家的重大发现都是经过一系列无效的类比而最终作出的。科学发现中的灵感（顿悟）和形象（直感）思维往往假助于类比和隐喻，这一模型可能有助于对灵感和直觉中的某些现象作出解释。例如，在不经意的情况下，恰好合用而先前没有的相似块的输入可能导致灵感；在潜意识中进行的漫长而又有效的远距离搜索最终也可能表现为灵感。可以用这个模型对科学史上一些重大创见的发现过程作出合理的解释，其中包括卢瑟福的原子结构太阳系模型、汤川秀树的介子理论和达尔文物种进化学说的猜想过程。

本节提出的模型不仅适用于用语义网络表示知识的智能系统，也适用于以其他等价方式表示知识的智能系统。尽管在表述方式上可能有所差异，但其内在实质则是相同的。

对人类而言，这个模型在某种程度上具有心理实在性。进一步说，客观世界自身也具有体现着普遍相似性的实体关系之网和关系的关系之网，以及表面上不相干领域中的规律的同型性。如果智能系统的知识结构更加相似于客观世界自身的结构，从而更加广泛、深刻地反映客观存在着的普遍相似关系和普遍联系，就有可能发现更具有统一性和简单性的原理。

莱布尼兹曾朦胧地看出，大自然中的一切都是相似的。列宁则批判地认为，在这种识见的神秘主义外衣后面，包含有特种、深刻的辩证法。在这个意义上说，有关相似性的研究不仅有助于建立类比的认知模型，还有可能对科学认识论和科学哲学在某些方向上的发展产生其特有的影响。

张铁声　张光鉴

原载于《思维科学》1986 年第 4 期，选自张光鉴、张铁声：《相似论与悖论研究》，天马图书有限公司，2003 年 8 月。

参考文献与注释

[1] 迈因策尔．复杂性中的思维．北京：中央编译出版社，1999：1，12.
[2] 布里格斯，皮特．湍鉴．北京：商务印书馆，1998：前言，309，283.
[3] Nonlinear thinking. Scientific American，1989：260（6）：26-28.
[4] 丁润生，何跃，翟建才．思维学新探．香港：天马图书有限公司，2002：95.
[5] 杨春鼎．形象思维学．合肥：中国科学技术大学出版社，1997：185.
[6] 圣吉．第五项修炼．上海：三联书店，1998：导论，79，424.
[7] 格莱克．混沌．上海：上海译文出版社，1990：263.
[8] 毛泽东选集（四卷合订本）．北京：人民出版社，1964：476，1061.
[9] 徐京华．人脑功能的非线性动力学的探索．自然杂志，1996，（2）.
[10] 陈忠，李金琳，章琪．人脑智能产生的非线性机制．科学技术与辩证法，1997，（8）.
[11] 郭爱克，孙海坚．生命与思维——在混沌的边缘演化．科技导报，1998，（1）.
[12] 哈肯．大脑工作原理．上海：上海科技教育出版社，2000：305.
[13] 蔡清富，吴万刚，黄辉映．毛泽东与中国古今诗人．长沙：岳麓出版社，1999：10.
[14] 赵光武．思维科学研究．北京：中国人民大学出版社，1999：355.
[15] 李厚泽．形象思维再续谈．文学评论，1980.
[16] 鲍享斯基．当代思维方法．上海：上海人民出版社，1987.
[17] Simon H A，Style in Design，Spatial Synthesis and Computer Aided Building Design. London：Applied Science Publishers，1975：287.
[18] 蒋孔阳．形学与典型．天津：百花文艺出版社，1980.
[19] Silvano Arieti. 创造的秘密．钱岗南译．沈阳：辽宁出版社，1987.
[20] Simon H A. 人类的认知——思维的信息加工理论．北京：科学出版社，1986.
[21] 陆汝钤．人工智能（上）．北京：科学出版社，1989.
[22] 安德森．认知心理学．杨清等译．长春：吉林教育出版社，1989.
[23] 卡洛琳，希鲁墨．视觉原理．张功钤译．北京：北京大学出版社，1987.
[24] 钱学森，刘再复．文艺学、美学与现代科学．北京：中国社会科学出版社，1985.

[25] Simon H A. Search of reasoning in problem solving. AI，1983，21：7.
[26] Stiny G. Introduction to shape and shape grammars. Environment and Planning，1980，7：343.
[27] Stiny G，Mitchell W. The grammar of paradise on the generation of mughal gardens. Environment and Planning，1980，1：209-226.
[28] Pan Y H，He Z J. A System to Create Computer Aided' Art Patterns，Knowledge Engineering and Computer Modelling in CAD. Butter Worths，1986.
[29] Mclanghlim S，Gero J S. Requirements of a reasoning system that supports creative and Innovative design activity. Knowledge-Based System，Mal，1989.
[30] 钱学森. 关于思维科学. 上海：上海人民出版社，1986.
[31] 尹红风，戴汝为. 论思维及智能模拟. 计算机研究与发展，1990：1-18.
[32] 杨春鼎. 文艺思维学. 南京：东南大学出版社，1989.
[33] 肖君和. 论思维——思维探新. 长春：时代文艺出版社，1989.
[34] 访 Simon、Newell 教授讲智能机. 计算机研究与发展，1991：64.
[35] 雷永生，等. 皮亚杰发生认识论述评. 北京：人民出版社，1987.
[36] Mantyla，Martti. An Introduction to Solid Modelling. New York：Computer Science Press，1988.
[37] 张小齐. 普通心理学教程. 北京：人民大学出版社，1989.
[38] 李传龙. 形象思维研究. 北京：中国文联出版公司，1986.
[39] 罗宾，乔治，科林伍德. 艺术原理. 王总元等译. 北京：中国社会科学出版社，1985.
[40] Simon H A. The Sciences of the Artificial. Cambrideg：MIT Press，1982.
[41] 李维春，等. 现代思维方式与领导活动. 北京：求实出版社，1987.
[42] 材赛，诺曼. 人的信息加工《心理学概论》. 北京：科学出版社，1987.
[43] 王仲春，等. 数学思维与数学方法论. 北京：高等教育出版社，1989.
[44] 恩田彰，等. 创造性心理学. 陆祖昆译. 石家庄：河北人民出版社，1987.
[45] 李春青. 艺术直觉研究. 沈阳：辽宁大学出版社，1957.
[46] 阿利赫舒列尔. 创造是一门精密的科学. 吴光威，刘树兰译. 北京：北京航空航天大学出版社，1990.
[47] Perkins D I. The Mind' s Best Work. Harvard：Harvard University Press，1981.
[48] 周昌忠. 创造心理学. 北京：中国青年出版社，1983.
[49] 赫葆源，等. 实验心理学. 北京：北京大学出版社，1983.
[50] Rudolf Arnheim. Visual Thinking. Los Angeles：University of California Press，1969.
[51] 叶奕乾，等. 图解心理学. 南昌：江西人民出版社，1982.
[52] 王雨田. 现代逻辑科学导引. 北京：中国人民大学出版社，1987.
[53] 毛星. 论文学艺术的特性. 北京：人民文学出版社，1958.
[54] 法捷耶夫. 争取做一个辩证唯物主义的艺术家，1930.
[55] Winston P H. Learning by creating and justifying transfer frames. *In*：Winston P H，Brown R H. Artificial Intelligence：An MIT Perspective. Cambridge：MIT Press，1979.
[56] Cohen P R，Feigenbaum E A. The Handbook of Artificial Intelligence. Pitman，1982：35.
[57] Hayer-Roth F，Waterman，Lenat D B. 专家系统建造. 太原：山西人民出版社，1986.
[58] 张光鉴. 相似论. 思维科学，1985，1.
[59] 张铁声. 思维科学札记. 思维科学，1985，2.
[60] Simon H A. 人解决问题对人工智能的教益. 自然辩证法通讯，1981，1.

[61] Zadeh L A. 模糊集合、语言变量及模糊逻辑. 北京：科学出版社，1984.
[62] Cohen P R，Feigenbaum E A. The Handbook of Artificial Intelligence. Pitman，1982：42.
[63] Norman D A. Learning and Memory. San Francisco：Freeman，1982.
[64] Schank R C. Identification of conceptualizations underlying natural language. *In*：Schank R C，Colby K M. Computer Models of Thought and Language. San Francisco：Freeman，1973.
[65] Schank R C. Conceptual Information Processing. Amsterdam：North-Holland，1975.
[66] Nilsson N I. 人工智能原理. 北京：科学出版社，1983.

第十四章　关于思维科学技术科学的探索

14.1　手写汉字的并行紧致集成识别方法①

多分类器集成或组合是模式识别中一个重要的研究方向[1~4]。一般情况下，不同的分类器之间在分类能力上有不同程度的互补作用，可以被集成在一起，形成一个具有更高分类性能的集成分类系统，不幸的是，由于缺乏足够的先验知识，很难定量地分析出不同分类器之间的互补关系，然而众所周知的是，多层感知机（multi-layer perceptron，MLP）网络具有极强的学习和记忆功能，可以在没有任何先验知识的情况下获取数据之间的联系与区别，是用来完成分类器和多分类器集成的理想工具。

手写汉字识别是一个大类别分类问题，类别数大是阻碍 MLP 网络直接应用于手写汉字识别的主要原因。直观和常用的解决方法是利用问题分解的策略，将原问题分解为多个易于网络实现的小类别分类问题[5]。然而这种方法不仅破坏了方法本身的系统性和整体性，而且降低了分类性能和泛化能力。实际上，人的智慧与机器能力的结合能够降低待解问题的复杂程度[6,7]。从这种观点出发，本章给出了一种解决手写汉字识别问题的并行紧致集成方法，克服了已有方法的不利因素。方法中定义了紧致 MLP 网络分类器，在不破坏问题完整性的前提下，克服了因类别大而引起的网络规模过大的缺陷。这一方法通过一个有教师的两步监督学习过程来实现。在第一步监督学习中，构建并训练一个或多个紧致 MLP 网络分类器；在第二步中构建并训练集成网络。从学习过程中可以看出，负责监督指导的教师起着关键的作用。这一集成方法为 MLP 网络在大类别分类问题中的应用提供了一条可行的途径。

本章选择手写汉字识别作为具体的研究对象，将综合集成的思想进一步引入到模式识别中，目的不仅在于提高识别系统的性能，更是寻求合理的人机集成策略，从而在大类别分类问题中实现合理且有效的网络集成。

14.1.1　集成的体系结构

目前有多种集成体系结构，其中串行和并行是两种具有代表性的结构。

---

① 国家自然科学基金资助项目（批准号 79990580）。

图 14-1 所示为一种串行集成体系结构，其中 L 个分类器被串行连接在一起，前一个分类器的输出作为后一个分类器的输入。这种集成方式的缺点就是误差累积效应，前一分类器的误差被传递并累加到后面的分类器，而且这一误差难以在后面的分类器中得到修正。另外，串行的信息处理模式并不符合实际情况，处理效率也不高，不过串行集成方式的实现过程较为简单。

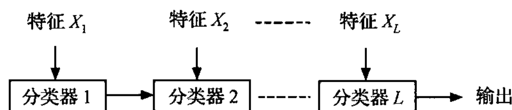


图 14-1　分类器串行集成体系结构

图 14-2 所示为一种并行集成体系结构，其中 L 个分类器被集成在一起，每一个分类器的输出以并行的方式直接输入到集成单元。这里，所有分类器输出合并在一起，可以看作集成单元的扩展输入，集成单元根据这一扩展输入做出最终分类决策。整个系统以并行的方式处理信息，其性能主要取决于单个分类器的性能和集成单元的性能。与串行结构相比较，并行处理更为科学并符合实际人脑信息处理过程，具有较强的处理能力。本章采用并行集成体系结构并用 MLP 网络来实现分类器和集成。

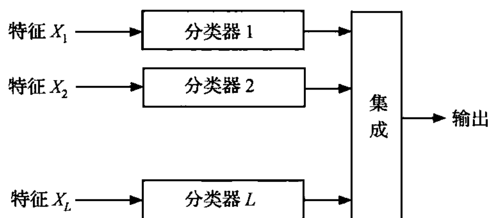


图 14-2　分类器并行集成体系结构

许多成熟的技术可用于分类器和集成方法的实现。本章采用的是 MLP 网络技术，不仅在集成体系结构上具有并行的特点，而且单分类器和集成环节也是由具有并行处理能力的 MLP 网络构成，具有完善的并行处理方式。只是针对手写汉字识别这一大类别分类问题，在用 MLP 网络实现过程中，需要引进较强的有教师监督学习，这在下一节详细介绍。

14.1.2　紧致 MLP 网络分类器

本节将详细介绍紧致 MLP 网络分类器。在方法介绍之前，先介绍网络的分类机理和应用于手写汉字识别中遇到的困难。

1. 传统的 MLP 网络分类器

图 14-3 所示为一个三层感知机网络分类器，可以处理 N 类分类问题。分类器根据输入特征向量和某种判决规则确定输入模式的类别。其中，输入特征向量的维数为 M，与输入特征向量维数和类别数相对应，网络有 M 个输入节点和 N 个输出节点。每个输出节点对应于一个特定的类别，其输出值正比于输入模式归属相应类别的可能程度。网络的连接权值在一个有教师的训练过程中进行调整。训练好的网络就是一个网络分类器，它具有非线性和并行信息处理的特点。

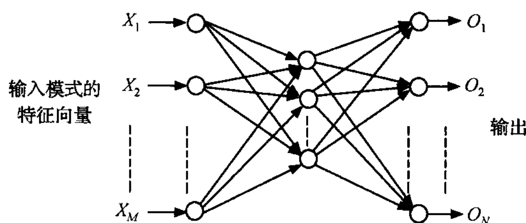


图 14-3　三层感知机网络分类器

在传统的 MLP 网络分类器中，每一个输出节点对应一个特定的类别。如果直接用于识别 GB2312-80 一级汉字，网络会有 3755 个输出节点。当 L 个不同的网络分类器按照图 14-2 的并行方式与集成网络连接，集成网络将有 $3755\times L$ 个输入节点。所以，集成网络和网络分类器的规模都很大，训练如此大的网络是非常困难的。为了避开大规模网络的出现，一种直观和常用的方法是将大类别分类问题分解为多个小类别分类子问题，每个子问题由一个网络解决[5]。这种方法中的问题分解过程会引入较大的不可修正的误差；同时，系统结构也显得松散，方法泛化能力不强。

综合集成提倡整体的观点，人机的有效集成能降低问题的复杂程度。本章给出的并行紧致集成方法从整体观出发，有效地避免与克服了上述方法中的不利因素。

2. 紧致 MLP 网络分类器

实际上，我们并非必须由每个网络分类器的输出中得到直观的最终决策信息，所以，不必要求网络分类器的每个输出节点与类别具有一一对应的关系，而只要输出节点的不同排列与类别一一对应就可以了。考虑一个 12 维二进制向量，所有分量共有 $2^{12}=4096$ 个不同的排列，如果每个排列对应一个类别，一个具有 12 个输出节点的网络可以预期处理 4096 个类别。当 L 个不同的网络分类器按照图 14-2 的方式与集成网络连接，集成网络将有 $12\times L$ 个输入节点。这样，每个

网络的规模都得到了大幅度减小，训练这样大小规模的网络是较为容易的。我们把这种意义下的 MLP 网络称为紧致 MLP 网络分类器，它在保证网络处理能力的同时，网络规模不会因类别数的增加而迅速增大。

表 14-1 所示为用于汉字识别的网络在训练过程中，传统网络分类器的期望输出形式和紧致 MLP 网络分类器的期望输出形式，在实际情况中，教师可以凭经验确定不同的 MLP 紧致网络分类器的输出节点数目和组合形式。

表 14-1 传统网络分类器和紧致 MLP 网络分类器的期望输出

类别	期望输出	
	传统网络分类器	紧致 MLP 网络分类器
1	(00……001)	(000000000001)
2	(00……010)	(000000000010)
3	(00……100)	(000000000011)
⋮	⋮	⋮
3755	(10……00)	(111010101011)

3. 紧致网络分类器的几何解释

如图 14-4 所示，(a) 为七个不同类别 $X_1 \sim X_7$ 在 n 维特征空间的分布；(c) 为具有三个输出节点的 MLP 网络的三维输出空间，$OAFBGDEC$ 是一个边长为单位长度的正六面体；(b) 是紧致 MLP 网络分类器期望实现的两个空间分布之间的理想映射关系。

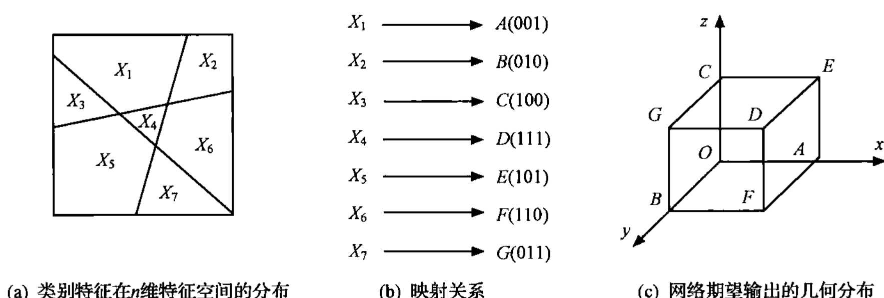


图 14-4 MLP 输入与期望输出的几何分布及对应关系

可以看出 MLP 网络期望完成的是各类在特征空间的分布到相应输出空间中正六面体顶点的映射，这种解释可以扩展到更多维输出空间的情况。

在传统的具有三个输出节点的 MLP 网络只能完成映射关系中前三个映射，只有三类处理能力。但是通过比较各个节点输出值的大小，可以直接得到分类

结果。

具有三个输出节点的紧致 MLP 网络能够完成映射关系中所有映射，具有 $2^3=8$类处理能力。后面的实验证明这种处理能力是可实现的。但是不能通过直接比较各个节点输出值的大小来得到分类结果，形象地说还需要一个解码器，这就是后面要讲到的完成集成和解码功能的集成网络。因为紧致网络输出数据基本映射到围绕正多面体顶点有限区域，以此作为输入的集成网络的实现是相当轻松的。

14.1.3　并行紧致集成

图 14-5 所示为并行紧致集成系统，其中，L 个紧致 MLP 网络分类器被集成在一起，处理的类别范围为 N 类。所有紧致 MLP 网络分类器的输出合并形成一个集成网络的扩展输入。集成网络的每个输出节点对应一个特定的类别，输出值正比于输入模式属于相应类别的可能程度。所以，集成网络的工作原理与传统的网络分类器相同。

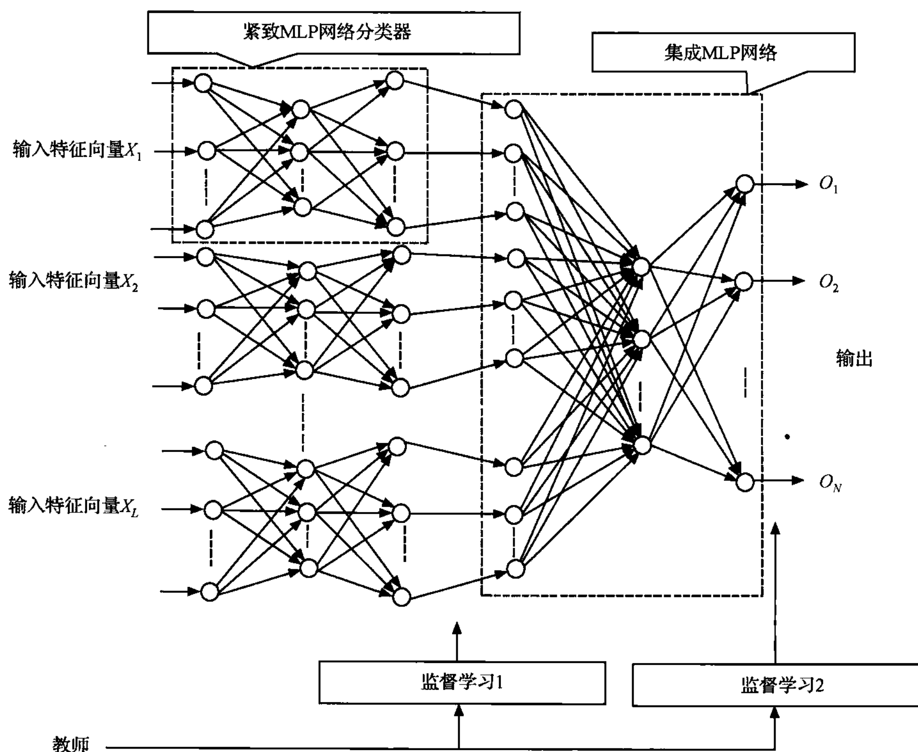


图 14-5　并行紧致集成系统

集成系统通过一个两步监督训练过程来实现。第一步构建并训练所有的紧致MLP网络分类器；第二步构建并训练集成网络。

第一步：构建并训练每个紧致MLP网络分类器。首先，确定网络结构，为网络连接权子赋初始值。本章建立的系统中，紧致MLP网络分类器为三层前馈网络。然后，在教师的监督下，通过反向传播算法进行网络训练，重复整个过程，直到所有紧致MLP分类器训练完毕。

第二步：构建并训练集成网络。集成网络的构建和训练过程类似于每个紧致MLP网络分类器的构建和训练，不同的是，集成网络的输入是由所有紧致MLP网络分类器输出合并形成的扩展输入；另外，由于输出节点的意义不同，教师提供给集成网络的期望输出也不同于紧致MLP网络分类器。本文建立的系统中，集成网络也是一个三层前馈网络。

14.1.4 与其他集成方法的比较

与传统的串行集成方法和基于问题分解的集成方法（如K-子网集成方法[5]）相比较，这一方法的优点体现在如下几个方面：

与串行集成方法相比，本章的方法是以网络为基础的，具有完全并行的机制。首先，MLP网络在分类性能上近似Bayes最优判决函数[8]，优于传统的分类方法；其次，并行联接机制能大幅度降低误差的累积。

K-子网集成方法采用了人为问题分解的策略，从一定程度上破坏了方法机制的完整性和结构的紧致性，降低了方法的分类和泛化能力。首先这一方法需要一个基于模板匹配的预分类器进行预分类，且各单分类器仍由模板匹配方法来实现，因此它并非一个完整意义下的网络集成方法。另外，K-子网集成方法中网络的训练过程受人为因素影响较大，实现困难。并行紧致集成方法避免了上述不利因素，建立的是一个完全的网络系统，网络的规模不大，两步监督学习过程易于实现。

通过充分发挥教师的作用，并行紧致集成方法体现了有效的人机集成，在两步监督学习过程中，紧致MLP网络分类器学习获取并记忆各个类别分布间的关系；而不同紧致MLP网络分类器间的互补关系由集成网络学习获取并记忆在网络的连接权子中，整个系统以分布并行方式处理信息。

14.1.5 实验与分析

为了验证这一新方法的有效性，我们建立了相应的集成型手写汉字识别系统并进行了测试。本文实验中，抽取了三种统计特征，分别记为SDF（144维）、CDF（320维）和HPF（196维），以这三种不同的特征进行训练后，可以得到三个相应的紧致MLP网络分类器，记为NC-SDF，NC-CDF和NC-HPF。同时

测试了单分类和集成系统的识别率，并与以前的集成系统做了性能上的比较。

1. 实验数据

实验中，分类范围为一级国标 GB2312-80 中的 3755 类汉字，实验用手写汉字样本来自中国科学院自动化研究所收集的 400 万手写汉字样本库。图 14-6 所示为部分系统测试用样本，处于同行的样本归属同一类别。



图 14-6　部分实验样本

实验数据的安排如下：紧致 MLP 网络分类器的训练数据，样本数为 3755×100=375 500；集成网络的训练数据：样本数为 3755×100=375 500；系统测试数据：样本数为 3755×100=375 500。

2. 实验结果及分析

表 14-2 所示为并行紧致集成实验结果。可以看到，集成系统的识别率比紧致 MLP 网络分类器平均高出 4.49%，比最好的一个高出 2.7%。在测试每个紧致 MLP 网络分类器的性能时，为每个分类器设计了网络解码器，功能类似于集成网络，并且用与集成网络相同的训练数据。

表 14-2　并行紧致集成实验结果

分类系统	NC-SDF	NC-CDF	NC-HPF	集成
识别率/%	86.71	90.03	87.97	92.73

表 14-3 所示为三种不同集成系统的识别率，从一定程度上支持了 14.1.4 节中的分析。并行紧致集成系统的识别率比串行集成和 *K*-子网集成分别高出 2.83%和 2.18%。

表 14-3　集成方法比较

集成方法	串行集成	K-子网集成	并行紧致集成
识别率/%	89.90	90.55	92.73

表 14-2 和表 14-3 中的实验结果不仅验证了新方法的有效性，同时说明了网络用于解决大类别分类问题的可行性。

14.1.6　结束语

本章将综合集成的思想引入到模式识别中，针对手写汉字识别这一大类别分类问题，给出了一种新的完全基于 MLP 网络的并行紧致集成方法。方法中定义了紧致 MLP 网络分类器，设计了两步监督学习过程，通过人机集成策略降低了问题的复杂度，在不失完整性和精度的前提下，克服了因类别大造成的网络规模过大，难于实现这一障碍。较之以前的方法，并行紧致集成在方法机制上更为合理，结构更为紧致，而且实验证明系统性能也要优于传统的方法。这为 MLP 网络在大类别分类问题中的应用提供了一条可行的途径。

王春恒　肖柏华　戴汝为

选自《中国科学（E 辑）》2003 年 10 月第 33 卷第 10 期。

14.2　从定性到定量综合集成法的形成与现代发展

20 世纪后期，中国科学家钱学森在《创建系统学》一书中提出了“从定性到定量的综合集成法”。早期是作为一种关于开放的复杂巨系统的方法论在 1990 年提出的[9]，当时的提法是“定性与定量相结合”。为了从认识论上澄清把定性与定量相结合发展为从定性到定量的概念，钱学森撰文《再谈开放的复杂巨系统》[10]，并安排笔者把从定性到定量的综合集成法研究的结果共同于次年发表[11]。其后，对从定性到定量的综合集成法在 1996 年出版的著作中做了进一步的阐述[12]。这个过程是创建系统学的重要组成部分。钱学森认为以人为主、人机结合、从定性到定量的综合集成，就是把一个非常复杂事情的各个方面综合起来，把人的思维、思维的成果、人的知识与智慧以及各种情报、资料、信息统统集成起来。他曾把“综合集成”的英文定名为 metasynthesis engineering。

这些工作一方面展示了中国在系统科学、复杂性科学及思维（认知）科学研究的成果，同时也是国际上倡导对还原论反思、系统分析进而开展群体智慧、多元决策的学术趋势。十几年来通过多学科交叉研究、现代信息和智能技术的运用，中国科学家在技术上实现了综合集成研讨空间体系，它可为多个领域研究人文与科学相结合的相关复杂问题，提供可操作的技术平台。

为了深入理解钱学森创建的以人为主、人机结合的从定性到定量的综合集成法，有必要了解其形成过程和国际、国内的研究状况，从而认识其博大精深的内涵。

14.2.1 前期系统工程实践和军事系统工程的奠基

钱学森自20世纪40年代就参与了美国最早的导弹研究，回国以后在中国“两弹一星”的事业中建立了卓著的功勋。他在领导航天军事等工作中最早采用了系统工程，并且总结出一套定性和定量相结合的方法学。

兰彻丝特①（Lanchester）在1916年发表的关于战斗单位数量损失率的两组微分方程，分别是克劳赛维茨（Clausewitz）《战争论》中两条作战经验的科学表达，是科学与经验巧妙结合的产物。兰彻丝特①的伟大贡献在于为作战模拟开辟了一条半经验半科学的正确途径。

1982年中国军事研究在讨论兰彻斯特的工作时，钱学森根据在领导航天工业时积累的丰富的实践经验，提出过一个见解：处理作战模拟的定量方法学，是科学理论、经验和专家判断力的结合。这种定量方法学，是半经验半理论的。他从这一见解得到启发，提出经验性假设（判断或猜想）是建立复杂作战模拟模型的出发点。这些经验性假设（判断或猜想）不能用严谨的科学方式证明，但需要用经验性数据对其确实性进行检测。从经验性假设（判断或猜想）出发，通过定量方法学途径获得的结论，仍然具有半经验、半理论的属性。当人们寻求用定量方法学处理复杂行为系统时，容易注重于数学模型的逻辑处理，而忽视数学模型微妙的经验涵义或解释，坠入机械唯物论的迷雾中。要知道，这样的数学模型，看来“理论性”很强，其实不免牵强附会，从而脱离真实。与其如此，不如从建模一开始就老老实实承认理论不足，而求援于经验判断，让定性的方法与定量的方法结合起来，最后定量。这样的系统定量分析方法学是建模者判断力的增强与扩展，是很重要的[13]。

14.2.2 系统工程方法论研究有待突破

方法论是一个理论体系，是表达其理论观点、构建其理论体系、实现其理论要求的一整套基本方法。方法论是认识世界、改造世界的基本方法的学说。科学的方法论是一种认识和改造世界的有效工具，从认识论上其适用范围更广，从功能性上有可操作性，作用上能直接具体达到所要求的目的。

不少国家尽管系统工程领域早已开展了方法论的研究，许多学者等人都发表了专门的论著，但他们多限于简单地把系统工程看成一个过程，停留在使用方法

① 应为“兰彻斯特”。——编者

的研究，而没能进入方法论的殿堂。

1980年，著名的国际应用系统分析研究所（IIASA）曾组织过一次对于系统工程的反思的讨论会，他们也谈到了需要一个坚实的方法论的基础，传统的还原论方法已不适用，特别强调要从实际需求出发，并运用经验知识，等等[14]。

100多年来，由于研究人员仍然是囿于传统的笛卡尔、伽利略、牛顿和莱布里兹等人所创立的近现代科学研究的方法论和观念——强调还原论和对基本性定律的追求。从方法论角度来看，在近代科学到现代科学的发展过程中，还原论方法发挥了重要作用，特别是在自然科学领域中取得了很大成功。还原论方法由整体往下分解，研究得越来越细，这是它的优势方面。由下而上则不一样，它回答不了高层次和整体问题，还原率①方法处理不了系统整体性问题。面对这种困境，不同的研究人员展开了各种探索性的工作，期望能够发现另一条道路以继续他们的研究，比如在美国新墨西哥州的圣菲汇集了一批各个领域的杰出科学家，成立了一个多学科交叉的科学研究中心——圣菲研究所（Santa Fe Institute）。他们在复杂性这面旗帜的引导下，从不同角度和层次上对上述的一些问题进行研究，现在复杂性科学被称为21世纪的科学，它已经在多个领域中成为了大家关心的中心问题。诺贝尔物理学奖获得者安德森（Anderson）称之为科学的前沿。圣菲研究所的第一任所长，也是前洛斯阿拉莫斯国家实验室（Los Alamos National Lab）研究中心的主任，克恩（Cowan）甚至认为圣菲研究所是一个使命、是一个为整个科学界获得拯救和新生的契机；他认为圣菲研究所所要达到的目的远比洛斯阿拉莫斯国家实验室更为重要。但是圣菲研究所的一些成员仍然没有完全摆脱还原论的影响，尽管他们在用计算机技术对人工生命及人工社会进行了不少研究，但是使得他们的工作仍不得不陷入到困惑当中[15,16]。在方法论上，虽然他们也意识到了还原论方法的局限性，但并没有提出新的方法论。方法论和方法是两个不同层次的问题。

14.2.3 自然科学和社会科学用系统观点交叉研究的进展

既然还原论方法处理不了复杂性问题，那么研究复杂性问题的方法论到底是什么？圣菲研究所主要依靠计算机技术，那么，仅靠计算机技术是否就能解决复杂性问题。从信息处理角度来看，人脑思维一种是逻辑思维，它是定量、微观处理信息方式；另一种是形象思维，创造思维是逻辑思维和形象思维的结合，也就是定性和定量相结合、宏观与微观相结合，这是人脑创造性的源泉。

20世纪70年代末，在把系统工程推广应用到更复杂的系统中去时，如社会系统工程，钱学森就意识到必须发展系统工程方法。80年代初，他曾提出，处

① 这个“率”字应为“论”字。——编者

理复杂行为系统的定量方法学，是科学理论、经验和专家判断力的结合。这种定量方法学是半经验半理论的。

1986年初开始举行的，共80余次关于系统学讨论会上，钱学森多次明确提出了系统科学的体系：与哲学联系的系统论，基础层次的系统学，应用基础或技术科学层次的控制论和运筹学等分支，以及控制工程和系统工程等直接用于解决实际问题的工程技术层次的内容。其后，钱学森又将其总结为“开放的复杂巨系统的方法论—— 从定性到定量的综合集成法”及其在各方面实际应用的学科体系。以上表明，30多年来钱学森从工程控制论到系统科学体系的形成，再次明确了系统工程方法在其中的地位，实现了一个重大的飞跃。

现时人们的思想方式要实现自然科学与社会科学相结合的变革，在研究方向上体现自然科学和社会科学的交叉研究，这种自然科学与社会科学在更高层次上的融合，正好反映在开放的复杂巨系统及其方法论的学说当中。

14.2.4　思维（认知）科学、智能科学、计算科学在方法论研究上的成果

从其开始作为方法论，就是建立在思维（认知）科学的基础上，并以人工智能为主要手段而建立的。对从定性到定量的综合集成法钱学森始终强调人机结合，但随着国内外认知心理学研究的进展和系统工程实践，人机结合的学术思想逐步深入，并发展到现时以人为主的观点，同时得到国际上的共识。

1. 思维（认知）科学与人工智能

1993年在美国华盛顿，由美国科学基金委员会组织了一次有30个大学约100位专家参加的思维（认知）科学教育会议。会上对于思维（认知）科学有一致的看法：思维（认知）科学是研究人的智能（intelligence在海峡两岸分别译为智能与智慧）、其他动物的智能及人造系统的智能的科学。研究内容包括：感知、学习、记忆、知识、语义、推理、语言、注意、意识及思维等。由于这门科学具有多学科交叉的性质，人们从心理学、计算机科学、神经科学、数学、语言学、哲学等不同的领域进行有关的研究。

人的智能的研究牵涉到脑的功能、意识与思维等十分复杂的问题。应该说：人的大脑神经系统的作用与人的思维、意识是统一的；思维和意识是大脑物质运动的产物，是开放的复杂巨系统的表现。对脑功能、意识与思维的研究，国内外的评论认为有两条道路：一条是研究人脑—— 脑科学的道路；另一条是从心理学、人工智能和思维（认知）科学着手。

诺贝尔奖获得者、中国科学院外籍院士希蒙[①]（Simon）认为：

---

① “Simon”的中文一直译为“西蒙”，否则会使读者以为是另一人。——编者

思维（认知）科学＝认知心理学＋人工智能[17]

思维（认知）科学，就其产生和发展历程来看，是以电子计算机的发展为其物质、技术基础、以计算机与人脑相类比为前提。认知心理学着重研究利用计算机仿真技术建立人的认知模型，而人工智能则主要研究如何运用人的知识和经验使机器系统，首先是计算机智能化。回顾人工智能 50 年发展的坎坷，借鉴日本研制第五代智能计算机的兴衰，根据笔者参加“863”计划智能计算机主题的体验，可以认为：从思维的深度，以复杂性的观点来研究“智能”是学科发展、融合的必然趋势。因此，人机结合是智能科学发展的必由之路。有鉴于此，根据钱学森先生的指导，笔者于 1994 年在中国科学院第七次院士大会上报告中提出：建立《智能科学与工程（人机的结合)》，对智能科学与工程（人机的结合）的研究任务、方法论和技术路线进行了论述，并对智能科学及工程与其他学科的区别有所界定，从而明确了从定性到定量的综合集成法中，人机结合的重要意义和实施的技术手段[18]。

2. 以人为主的计算和智能研究

建立“以人为中心的人机交互环境”是认知和智能研究长期以来的梦想。普适计算技术的出现和发展为以人为中心的人机交互环境赋予了新的涵义，这就是把人机交互的接口从计算机的面前扩展到人们生活的三维物理空间，交互的方式将适合于人们的习惯并且尽可能少地分散用户的注意力。普适计算技术的发展必将使计算、通信、多媒体等为代表的信息技术无处不在地，渗透到人们生活的各个方面。人们已逐步进入信息社会。信息社会应该是人机和谐的环境，这样才能使信息技术成为人们生活的必需品，成为改善生活质量、提高工作效率和解决社会发展问题的有力工具。建立和谐的人机环境对人机交互学科提出了巨大的挑战，它不但涉及信息技术，而且包括心理学、社会学等广泛领域。因此，建立和谐人机环境呼唤多学科交叉研究，期待着智能技术的突破。

为迎接新世纪的到来，美国国家基金委员会（NSF）召开了一次关于“以人为主的系统与信息、交互和智能”的研讨会，51 位来自不同领域的研究人员齐聚 UIUC，提出了一个完全不同的主题——“人类生活，科学发现方法，技术适应”，并首次提出了以人为中心的计算。2006 年、2007 年美国国家基金委员会更是连续两年发布题为《信息和智能系统：先进以人为主的计算，信息集成和信息健全智能》的项目申请指南。这也让人们强烈地感到变革前夜的气氛[19]。

1997 年美国国家基金委员会的研究讨论会明确提出了以人为中心的计算的概念。这表明，钱学森的学术思想的前瞻性，在国际上领先 10 年。

以人为中心的计算方法论有几个特点：

① 强调人机集成。以人为中心的计算研究聚焦于人机集成的各个层面：人

与软件、人与硬件、人与工作空间、人与人以及机器与机器的交互等等，只要他们对人在系统中的总体系统性能决定性产生影响。

② 强调系统观。人和信息处理设备以及所处的环境，即社会，必须看做是一个耦合的三者合一的系统。

③ 强调社会观。长期以来，思维（认知）科学的一个基本假设就是：人类个体是理解人类智能的合适的分析单元。麻省理工大学的本特兰德（Pentland）则通过实验指出，上述假设存在缺陷，社会网络也是重要的分析单元，而且“社会智能”、“网络智能”很大程度上通过非语言学过程调节。通过社会网络分析可以预测 40% 或者更多的个体行为变化，因而反映出社会性的重要作用。

④ 强调以人为中心。不同于传统的计算模式，人给计算机提供形式化的问题描述，也不同于以往以人为中心的计算，它与曾经提出的人机交互不同，而是具有更深层次的科学技术与人进一步与社会融合的意义[20]。

14.2.5　信息空间综合集成研讨体系的技术实现

从定性到定量的综合集成法的实践形式之一是从定性到定量的综合集成研讨厅体系（HWME），经过我们多年努力已经建成信息空间综合集成研讨体系（cyberspace for workshop of metasynthetic engineering）。从现代信息和网络的技术角度，信息空间综合集成研讨体系可以视为由专家体系、机器体系和知识体系三者共同构成的一个虚拟工作空间。“厅”的涵义在于：它是专家们同计算机和信息资料情报系统一起工作的“厅”，是把专家们和知识库、信息系统、人工智能系统、高速计算机等像作战指挥演示厅那样组织起来，形成一个强大的、人机结合的智能系统。只要具备了必要的技术保障手段，该系统处理复杂问题的能力将远远超过其中的每一位成员。

该系统以信息网络为网络运行环境，作为一个分布式平台，所有的传输和通讯协议均构建于 TCP/IP 协议之上。在硬件方面，面向宏观经济决策的 CWME 服务器端采用基于 x86 的专用工作站，客户端可以是普通 PC、笔记本、苹果电脑等任何支持 TCP/IP 协议和 Java 运行环境的计算机。在软件方面，采用了基于 B/S 和 C/S 的混合结构，软件分为以下层次：人机交互层，主要接受用户的输入，并显示输出结果；应用层，又包括群体智慧的涌现、研讨组织、广义专家、信息过滤、模型支持等多个应用模块；多媒体①息共享层，用于控制和传输多媒体信息（包括语音、视频数据、文本信息和电子白板、应用程序共享等信息）；基础设置层，提供底层的数据传输服务，并支持安全传输、目录服务和标准的信息网络协议[21]。

---

① 这里漏掉一个“信”字。——编者

该系统可应用于宏观经济决策、经济调控方案评估、经济运行态势分析等，可支持数百个专家同时进行讨论，支持自由式、轮流式、抢先式等多种研讨方式。

从定性到定量的综合集成法既体现了“精密科学”从定性判断到精密论证的特点，也体现了以形象思维为主的经验判断到以逻辑为主的精密定量论证过程。所以，这个方法是走精密科学之路的方法论。它的理论基础是认知和思维科学；方法基础是系统科学与数学；技术基础是以计算机为主的信息技术；哲学基础是实践论和认识论。从定性到定量的综合集成法是从整体上研究和解决问题，采取以人为主、人机结合的思维方法和研究方式，对不同层次、不同领域的信息和知识进行综合集成，达到对整体的定量认识。运用这个方法论研究问题时，也需要进行系统分解，在系统总体指导下进行分解，在分解后研究的基础上，再综合集成到整体，如此反复进行达到从信息到知识以及智慧的涌现。如果单独看综合与集成，则综合高于集成。集成比较注重物理意义上的集中和小型化、微型化，主要反映量变（例如集成电路）；综合的涵义更广、更深，反映质变，例如人们经常说“综合即创造（也可以说‘综合即创新’）”。综合集成的重点是综合。其前缀 meta 的涵义是“在……之上”、“在……之外”，这里当取“在……之上”，那么，meta-synthesis 就是“在综合之上”、“超越综合”。就是说，综合集成的重点在综合，目的是创造、创新[22]。

14.2.6　从定性到定量的综合集成法研究走向应用

1999 年，国家自然科学基金重大项目“支持宏观经济决策的综合集成研讨体系研究”启动。2003 年，从定性到定量的综合集成研讨厅体系雏形系统第一版开发完毕，并于同年 9 月在位于奥地利的国际应用系统分析研究所进行演示，引起各国专家的普遍关注，认为在处理复杂系统方面具有较强的可操作性。2004 年，进一步对从定性到定量的综合集成研讨厅体系做出表述，明确了构建处理复杂问题的可操作平台的原则，为从定性到定量的综合集成研讨厅体系的具体化和实用化指明了方向。2005 年，我们成功研制了基于信息空间综合集成研讨体系。该项工作被国家自然科学基金委员会评定为特优。

近年来，国际上有关综合、集成以及与此相关的研究，也出现了几个有代表性的重大项目，如美国的定性综合集成的解析方法，欧盟的应急管理项目及日本的未来开拓学术研究计划中的综合的科学等。但是还没有以人为主、人机结合从定性到定量的综合集成法。因而这种学说介绍到国外时，受到相当重视。中国参加了维也纳第 17 届复杂系统建模与集成政策评估方法论及工具研究讨论会，代表团成员在大会共做了六个报告。演示了一下最新开发的从定性到定量的综合集成研讨厅体系的软硬件系统以及应用该系统解决实际问题的工作过程。让一些国

外专家了解了从定性到定量的综合集成研讨厅体系这一处理开放的复杂巨系统的方法论，并对其巨大的理论潜力和广阔的应用前景有了深刻印象[23]。可以说钱学森创立的从定性到定量的综合集成法引领了一个时代的科学研究，这种科学方法论更将在科学的交叉、融合发展中，体现其重要作用。

(2009年11月18日收到)

戴汝为

选自《自然杂志》第31卷第6期。

14.3　从综合集成思想到综合集成实践①——方法、理论、技术、工程

20世纪80年代中，著名科学家钱学森亲自倡导和指导了“系统学讨论班”的学术活动。这个讨论班的目的是建立系统科学的基础理论系统学[24]。在这个讨论班上，钱学森发表了许多创造性的学术思想和观点，提炼了很多重要的科学概念，提出了新的系统方法论。特别是他提出的开放的复杂巨系统及其方法论，开辟了一个科学的新领域，具有重要的理论意义和实践意义[25]。大体在同一时期，国外兴起了复杂性研究和复杂性科学，后来又提出复杂系统和复杂适应系统的研究。比较起来，钱学森在这方面的科学思想和科学方法显得更为深刻，也更为系统。特别是他提出的综合集成思想与综合集成方法，具有重要的科学价值和深远的学术影响。

本节的目的是从方法、理论、技术与应用的几个层次上，对综合集成进行一些讨论，以利于今后进一步的研究和应用。

14.3.1　从系统整体性到综合集成

系统科学和已有的其他科学不一样，它是从事物的整体与部分、全局与局部以及层次关系的角度来研究客观世界的[24]。客观世界包括自然、社会和人自身，能反映事物这个特征最基本的重要概念是系统。所以系统也就成为系统科学研究的基本对象。这与自然科学、社会科学、人文科学的研究对象不同，它能把这些对象联系起来作为系统进行综合性研究。这也就是为什么系统科学具有交叉性、综合性、整体性与横断性的原因。

所谓系统是指由一些互相关联、互相作用、互相影响的组成部分所构成的具有某些功能的整体。这样定义的系统在自然界、人类社会包括人自身是普遍存在的。通常将相互关联、相互作用、相互影响的组成部分称作系统结构。系统以外

---

① 基金项目：国家自然科学基金资助项目（79990580）。

的部分称为系统环境。根据系统结构的复杂程度，可将系统分为简单系统、简单巨系统、复杂系统、复杂巨系统、特殊复杂巨系统——社会系统。

系统的一个重要特点，就是系统在整体上具有其组成部分所没有的性质，这就是系统的整体性。系统整体性的外在表现就是系统功能。这个性质意味着，对系统组成部分都认识了，并不等于认识了系统整体，系统整体性并不是组成部分性质的简单“拼盘”。我们常说“三个臭皮匠凑成个诸葛亮”，三个臭皮匠所构成的系统，在整体上是诸葛亮水平，而它的组成部分只是臭皮匠水平，两者相差很大。下面我们将会看到，研究和运用系统整体性这一特点，具有重要的理论意义和实践意义。

在系统科学中，有一条很重要的原理，就是系统结构和系统环境以及它们之间的关联关系，决定了系统整体性和功能。也就是说，系统整体性与功能是内部系统结构与外部系统环境综合集成的结果，也就是复杂性研究中所说的涌现(emergence)[26]。

从理论上来看，研究系统结构与系统环境如何决定系统整体性和功能，揭示系统存在、演化、协同、发展与控制的一般规律，就成为系统学，特别是复杂巨系统学的基本任务。国外关于复杂系统的研究，也是属于这方面的探索。

从应用角度来看，根据这个原理，为了使系统具有我们期望的功能，特别是最好的功能，可以通过改变和调整系统结构或系统环境以及它们之间的关联关系来实现。但是系统环境通常不是想改变就能改变的，只能主动去适应。而系统结构却是能够改变、调整和设计的。这样，便可以通过改变和调整系统组成部分或组成部分之间、层次结构之间以及与系统环境之间的关联关系，使它们相互协调与协同，从而使系统在整体上涌现出我们满意的和最好的功能，这就是系统控制、系统干预（intervention）、系统组织管理的基本内涵，也是控制工程、系统工程等所要实现的主要目标。

对于系统研究和应用来说，一个是要认识系统，另一个是在认识系统的基础上去改造和运用系统，这就要有正确的方法论指导和科学方法的运用。

14.3.2 综合集成方法

对复杂系统、复杂巨系统（包括社会系统）的研究，是系统科学中的核心问题，也是系统工程应用中难以处理的问题。对于简单系统、简单巨系统均已有了相应的方法论和方法，也有了相应的理论与技术并在继续发展之中。但对复杂系统、复杂巨系统（包括社会系统），首先遇到的是方法论和方法问题。它不是已有科学方法所能处理的。

从近代科学到现代科学的发展过程中，自然科学采用了从定性到定量的研究方法，所以自然科学被称为“精密科学”。而社会科学、人文科学由于研究对象

的复杂性，通常采用的是从定性到定性的思辨、描述的方法，所以这些学问被称为“描述科学”。但这种趋势随着科学技术的发展也在变化，有些学科逐渐向精密化方向接近，例如经济学、社会学等。

从方法论角度来看，在这个发展中，培根式的还原论方法发挥了重要作用，特别是在自然科学中取得了很大成功。还原论方法是把所研究的对象分解成部分，以为部分都研究清楚了，整体也就清楚了。如果部分还研究不清楚，再继续分解下去进行研究，直到弄清楚为止。按照这个方法论，物理学对物质结构的研究已经到了夸克层次，生物学对生命的研究也到了基因层次。但是现实的情况却告诉我们，认识了基本粒子还不能解释大物质构造，知道了基因也回答不了生命是什么。这些基本事实使科学家们认识到“还原论不足之处正日益明显”[27]。这就是说，还原论方法由整体往下分解，研究得越来越细，这是它的优势方面，但由下往上回不来，回答不了高层次和整体问题，这又是它的不足一面。所以仅靠还原论方法还不够，还要解决由下往上的问题，也就是前面提到得所谓涌现问题。著名物理学家李政道曾讲过：“我猜想 21 世纪的方向要整体统一，微观的基本粒子要和宏观的真空构造、大型量子态结合起来，这些很可能是 21 世纪的研究目标”[28]。这里所说的把宏观和微观结合起来，就是要研究微观如何决定宏观，解决由下往上的问题，打通从微观到宏观的通路，使宏观与微观统一起来。

同样的原因，还原论方法也处理不了系统整体性问题，特别是复杂系统和复杂巨系统的整体性问题。从系统角度来看，把系统分解为部分，单独研究一个部分，就把这个部分和其他部分的关联关系切断了。这样，就是把每个部分都研究清楚了，也回答不了系统整体性问题。

意识到这一点更早的科学家是彼塔朗菲，他是一位分子生物学家，当生物学研究已经发展到分子生物学时，用他的话来说，对生物在分子层次上了解得越多，对生物整体反而认识得越模糊。在这种情况下，他提出了整体论方法，强调还是从生物体系统的整体上来研究问题。但限于当时的科学技术水平，支撑整体论方法的具体方法体系没有发展起来，还是从整体论整体，从定性到定性，解决不了问题。但整体论方法的提出却是对现代科学技术发展的重要贡献。

20 世纪 80 年代中，国外出现了所谓复杂性研究和复杂性科学。实际上，他们所说的复杂性问题就是用还原论方法处理不了而需要有新的方法论和方法来处理的问题。从这个角度来看，系统整体性，特别是复杂系统、复杂巨系统的整体性问题就是复杂性问题。所以对复杂性的研究，他们后来也“采用了一个‘复杂系统’的词，代表那些对组成部分的理解不能解释其全部性质的系统”[27]。国外关于复杂性和复杂系统的研究，在研究方法上确实有许多创新之处，如他们提出的遗传算法、开发的 Swarm 软件平台、以 Agent 为基础的系统建模、用数字技术描述的人工生命，等等。但在方法论上，虽然也意识到了还原论方法的局限

性，却没有开辟出新的途径，提出新的方法论。方法论和方法是两个不同层次的问题。方法论是关于研究问题所应遵循的途径和路线，在方法论指导下是具体方法问题。如果方法论不对，再好的方法也解决不了根本性的问题。

20 世纪 70 年代末，钱学森提出把还原论方法和整体论方法结合起来，即系统论方法。应用这个方法研究系统时，也需要将系统分解，在分解后研究的基础上再综合集成到系统整体，实现 1＋1＞2 的涌现，达到从整体上研究和解决问题的目的。

系统论方法吸收了还原论方法和整体论方法各自的长处，同时也弥补了各自的局限性，既超越了还原论方法，又发展了整体论方法，这就是系统论方法的优势所在。

还原论方法、整体论方法、系统论方法都属于方法论层次，但又各具特色，各有不同。还原论方法采取了从上往下、由整体到部分的研究途径，整体论方法是不分解的，从整体到整体。而系统论方法既从整体到部分由上而下，又自下而上由部分到整体。正是研究路线上的不同，使它们在研究和认识客观事物的效果上也不同。形象地说，可概括如下：

整体论方法　$1 + 0 = 1$

还原论方法　$1 + 1 \leqslant 2$

系统论方法　$1 + 1 > 2$

20 世纪 80 年代末至 90 年代初，钱学森又先后提出“从定性到定量综合集成方法”以及它的实践形式“从定性到定量综合集成研讨厅体系”（以下将两者简称为综合集成方法），并将运用这套方法的集体称为总体部。这就将系统论方法具体化了，形成了一套可以操作的行之有效的方法体系和实践方式。从方法与技术层次上看，它是人机结合、人网结合以人为主的信息、知识和智慧的综合集成技术；从运用和应用层次上看，是以总体部为实体进行的综合集成工程。

综合集成方法的实质是把专家体系、信息与知识体系以及计算机体系有机结合起来，构成一个高度智能化的人机结合体系，这个体系具有综合优势、整体优势和智能优势。它能把人的思维、思维的成果、人的经验、知识、智慧以及各种情报、资料和信息统统集成起来，从多方面的定性认识上升到定量认识。

综合集成方法是以思维科学为基础的。从思维科学角度来看，人脑和计算机都能有效处理信息，但两者有极大差别。人脑思维一种是逻辑思维（抽象思维），它是定量、微观处理信息的方法；另一种是形象思维，它是定性、宏观处理信息的方法，而人的创造性主要来自创造思维，创造思维是逻辑思维和形象思维的结合，也就是定性与定量相结合、宏观与微观相结合，这是人脑创造性的源泉。今天的计算机在逻辑思维方面确实能做很多事情，甚至比人脑做得还好、还快，善于信息的精确处理，已有许多科学成就证明了这一点，如著名数学家吴文俊先生

的定理机器证明。但在形象思维方面，现在的计算机还不能给我们以任何帮助。至于创造思维就只能依靠人脑了。但计算机在逻辑思维方面毕竟有其优势，如果把人脑和计算机结合起来以人为主，那就更有优势，人将变得更加聪明，它的智能比人要高，比机器就更高，这也是 1+1>2 的道理。这种人机结合以人为主的思维方式和研究方式就具有更强的创造性和认识客观事物的能力，如图 14-7 所示。

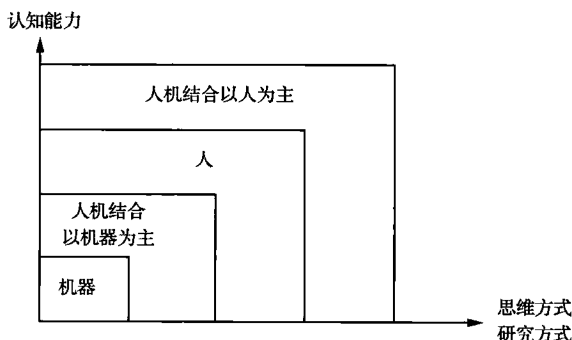


图 14-7　思维方式与认知能力

信息、知识、智慧是三个不同层次问题。有了信息未必有知识，有了信息和知识也未必就有智慧。信息的综合集成可以获得知识，信息、知识的综合集成可以获得智慧。人类有史以来，是通过人脑获得知识和智慧的。现在由于以计算机为主的现代信息技术的发展，我们可以通过人机结合以人为主的方法来获得知识和智慧，在人类发展史上，这是具有重大意义的进步。综合集成方法就是这种人机结合获得知识和智慧的方法。

从认识论角度来看，与所有科学研究一样，无论是对复杂系统、复杂巨系统（包括社会系统）的理论研究还是应用研究，通常是在已有的科学理论、经验知识基础上并和专家判断力（专家的知识、智慧和创造力）相结合，对所研究的问题提出和形成经验性假设，如猜想、判断、思路、对策、方案，等等，这种经验性假设一般是定性的。它所以是经验性假设，是因为其正确与否、能否成立还没有用严谨的科学方式加以证明。在自然科学和数学中，这类经验性假设是用严密的逻辑推理和各种实验手段来证明的，这一过程体现了从定性到定量的特点，所以这些学问被称为“精密科学”。但对复杂系统、复杂巨系统来说，由于其跨学科、跨领域的特点，对所研究的问题能提出经验性假设，通常不是一个专家，也不是一个领域的专家们所能提出来的，而是由不同领域、不同学科专家构成的专家体系，依靠群体的知识和智慧，对所研究的复杂系统和复杂巨系统问题提出经验性假设与判断。但要证明其正确与否，仅靠自然科学和数学中所用的各种方法

就显得力所不及了。如社会系统、地理系统中的问题，既不是简单的逻辑推理，也不能进行实验。但我们对经验性假设又不能只停留在思辨和从定性到定性的描述上，这是社会科学、人文科学中常用的方法，这些学问被称为“描述科学”。系统科学是要走“精密科学”之路的，那么出路在哪里？这就是人机结合以人为主的思维方式和研究方式。机器能做的尽量由机器去完成，极大扩展人脑逻辑思维处理信息的能力（自然也包括了各种能用的数学方法和工具）。通过人机结合以人为主，实现信息、知识和智慧的综合集成。这里包括了不同领域的科学理论和经验知识、定性知识和定量知识、理性知识和感性知识，通过人机交互、反复比较、逐次逼近，实现从定性认识到定量认识，从而对经验性假设的正确与否做出明确结论，无论是肯定还是否定经验性假设，都是认识上的进步，然后再提出新的经验性假设，继续进行定量研究。这是一个永远也不会完结的认识过程。

综合集成方法的运用是专家体系的合作以及专家体系与机器体系合作的研究方式与工作方式。具体地说，是通过“定性综合集成”到“定性、定量相结合综合集成”再到“从定性到定量综合集成”这样三个步骤来实现的。这个过程不是截然分开，而是循环往复、逐次逼近的[29]。复杂系统与复杂巨系统问题，通常是非结构化问题。通过上述综合集成过程可以看出，在逐次逼近过程中，综合集成方法实际上是用结构化序列去逼近非结构化问题，如图 14-8 所示。

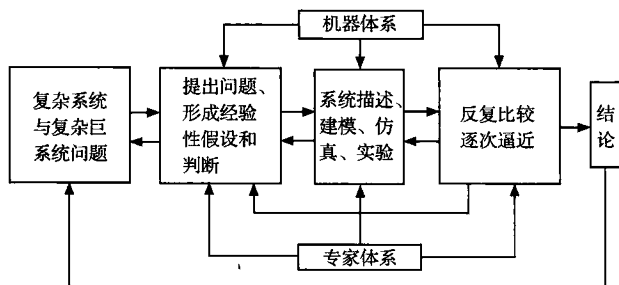


图 14-8 综合集成方法的实现

这套方法是目前处理复杂系统、复杂巨系统（包括社会系统）的有效方法。已有成功的案例验证了它的有效性。综合集成方法的理论基础是思维科学，方法基础是系统科学与数学，技术基础是以计算机为主的现代信息技术，哲学基础是马克思主义的实践论与认识论。

14.3.3 综合集成的理论与技术

科学是认识世界的学问，技术是改造世界的学问，工程是改造世界的实践。从这样三个层次来看，现代科学技术已有了巨大发展，人类对客观世界的认识越来越深刻，改造客观世界的能力也越来越强。今天，科学技术对客观世界的研究

与探索，已有渺观、微观、宏观、宇观直到胀观五个层次的时空范围，可用图 14-9来表示：

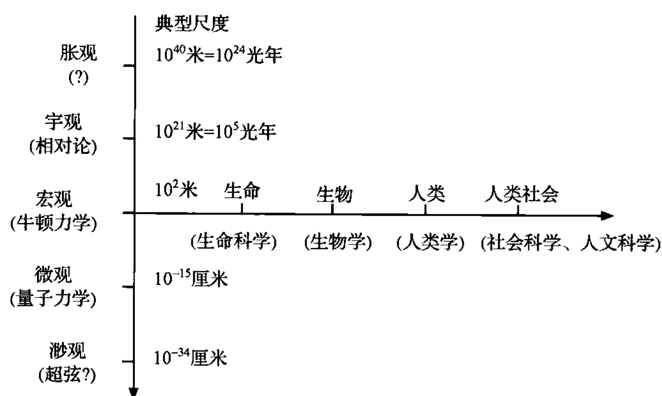


图 14-9　科学研究的时空范围

其中宏观层次就是我们所在的地球，在地球上出现了生命、生物，产生了人类和人类社会。相应于这些不同部分和不同层次的研究，也就形成了今天所说的自然科学、社会科学、人文科学。概括地说，自然科学是关于自然规律的学问，可以概括为物有物理，简称为物理；社会科学是关于社会规律的学问，可以概括为事有事理，简称为事理；人文科学是关于人的学问，可以概括为人有人理，简称为人理。我们处理任何事物，都要物理对，事理明，人理通，才有可能取得成功。

客观世界是相互联系、相互影响、相互作用的，因而反映客观世界不同部分不同层次规律的自然科学、社会科学、人文科学，也是相互联系、相互影响、相互作用的，我们不应把这些学问的内在联系人为地加以割裂，而应把它们有机联系起来去研究和解决问题。德国著名物理学家普朗克在 20 世纪 30 年代，就曾提出“科学是内在的整体，它被分解为单独的整体不是取决于事物的本身，而是取决于人类认识能力的局限性。实际上存在着从物理到化学，通过生物学和人类学到社会学的连续链条，这是任何一处都不能被打断的链条”。这段话是很深刻的，科学的发展也证实了这个论断的科学性和正确性。

现代科学技术的发展呈现出既高度分化，又高度综合的两种明显趋势。一方面是已有学科不断分化、越分越细，新科学、新领域不断产生；另一方面是不同学科、不同领域之间相互交叉、结合，以至融合，向综合性整体化的方向发展。这两种趋势是相辅相成，相互促进的。

在这后一发展趋势中，同一领域内存在不同学科的交叉、结合，特别是不同领域之间，如自然科学、社会科学、人文科学之间的相互结合以至融合，这已成

为现代科学技术发展的重要特点。在这一趋势中，先后涌现出系统科学、管理科学、软科学、复杂性科学等。在这个方向上的理论研究和应用研究，都应引起我们高度重视，这里有很大的创新空间。特别是这方面人才的培养，显得更加迫切。这类人才是具有跨学科、跨领域能力的复合型人才。

对于这后一发展趋势，我们始终面临着如何把不同领域、不同学科以及不同层次的知识综合集成起来的问题，这样形成的知识和理论对客观事物的认识将更加深刻和更加全面。复杂性研究和复杂科学的积极倡导者 Gellmann，在他所著的《夸克与美洲豹》一书中，曾写道“研究已表明，物理学、生物学、行为科学，甚至艺术与人类学，都可以用一种新的途径把它们联系到一起，有些事实和想法初看起来彼此风马牛不相及，但新的方法却很容易使它们发生关联”。Gellmann 虽然没有说明这里所说的新途径、新方法是什么，但从他们后来关于复杂系统、复杂适应系统的研究来看，这个新途径和新方法就是系统途径和系统方法。

实际上，人类长期社会实践所积累起来的知识，如今已发展成为一个体系，这就是人类知识体系。在这个体系中，不同领域、不同学科、不同层次的知识，相互关联、相互影响共居一体，而且这个体系是开放的，随着科学技术的发展，这个体系也要发展。钱学森对这个体系的结构，曾提出过一个清晰的框架[30]。

一般来说，复杂系统、复杂巨系统不仅有自然属性，还有社会属性和人文属性。这些属性寓于同一个系统之中。研究这个系统不仅需要自然科学，也需要社会科学、人文科学，系统本身就把这些学问联系起来了。这就需要把这些学问综合集成起来，才有可能全面、深刻地去认识系统。以管理科学为例，大家都认为管理科学是自然科学、社会科学、人文科学相互交叉、结合以至融合的研究领域。实际上，管理科学所面临的研究和应用对象都是系统，这些系统通常都是复杂系统和复杂巨系统，既有自然属性，又有社会属性和人文属性。在这种情况下，我们需要的是把自然科学、社会科学与人文科学综合集成起来研究系统的管理问题，而不是把它们分割开来仅从自然科学角度或仅从社会科学、人文科学角度去研究，然后再拼起来。这是两种不同的研究路线，也是两种不同的研究方法。前者需要综合集成方法，后者还是还原论方法。方法不同效果也就不会一样。

在现代科学技术向综合性、整体化方向发展的过程中，综合集成方法是可以发挥作用的。运用综合集成方法所形成的理论就是综合集成的理论。钱学森提出的系统学，特别是复杂巨系统学，就是要建立这套理论。国外关于复杂性的研究，实际上是复杂系统、复杂巨系统的动力学问题，也是属于系统理论范畴。综合性、整体化的方向，不仅有科学层次上的理论问题，也有技术层次上的应用问题。在这方面，比较典型的是系统工程技术的出现与发展。系统工程是组织管理

系统的技术，它根据系统总体目标的要求，从系统整体出发，运用综合集成方法把与系统有关的学科理论方法与技术综合集成起来，对系统结构、环境与功能进行总体分析、总体论证、总体设计和总体协调，其中包括系统建模、仿真、分析、优化、评估与设计，以求得可行的、满意的或最好的系统方案并付诸实施。

由于实际系统不同，将系统工程用到哪类系统上，还要用到与这个系统有关的科学理论方法与技术。例如，用到社会系统上，就需要社会科学与人文科学方面的知识。从这些特点来看，系统工程不同于其他技术，它是一类综合性的整体技术、一种综合集成的系统技术、一门整体优化的定量技术。它体现了从整体上研究和解决问题的技术方法。

系统工程的应用首先是从工程系统开始的，用来组织管理工程系统的研究、规划、设计、制造、试验和使用。实践已证明了它的有效性，如航天系统工程。直接为这类工程系统工程提供理论方法的有运筹学、控制论、信息论等，当然还要用到自然科学技术有关的理论方法与技术。所以，对工程系统工程来说，综合集成也是其基本特点。

当我们把系统工程用来组织管理复杂系统和复杂巨系统（包括社会系统）时，处理工程系统的方法已不够用了，难以用来处理复杂系统、复杂巨系统的组织管理问题。在这种情况下，系统工程也要发展。由于有了综合集成方法，系统工程便可以用来组织管理复杂系统和复杂巨系统了，这样系统工程也就发展了，已发展到复杂系统工程和复杂巨系统工程阶段。

从综合集成的理论到综合集成的技术，中间也应有个过渡桥梁，它属于技术科学层次。王众托院士曾提出把这门学问称作“集成学”。考虑到综合集成的内涵和外延比通常所说的集成要广泛而深刻，因而称作“综合集成学”可能更贴切一些。

14.3.4　综合集成工程

把综合集成的理论与技术用于改造客观世界的实践中，就是综合集成工程。

社会实践的特点是有明确的目的性和组织性。要清楚干什么、为什么干、能不能干以及怎样干才能干得最好的问题。随着科学技术的发展、生产力的提高和社会的进步，社会实践越来越丰富，也越来越复杂，突出表现在空间活动范围上越来越大，时间尺度变化上越来越快，层次结构上越来越复杂，效果和影响上越来越广泛和深远。在这种情况下，社会实践绝不是想干什么就干什么，想怎么干就怎么干。社会实践不仅有自然属性，还有社会属性和人文属性。这就使得社会实践具有高度的综合性、系统性、动态性和复杂性。

实践作为一个过程，包括实践前形成的思路、设想、战略、规划、方案、计划以及可行性等，都应进行科学论证，以使实践的目的性、可行性等建立在科学

基础上，而不是建立在经验甚至感情和意志的基础上，这就涉及决策科学化问题；也包括实践过程中，要有科学的组织管理和协调，保证实践的有效性，以取得最好的效果；还包括实践后的总结和评估，检验整个实践的科学性与合理性，以利于今后再实践，这是一个正反馈过程。

对任何一项具体实践或工程，都是一个具体的实际系统，是有人参与的实际系统，因此，社会实践是系统的实践，也是系统的工程。这样一来，有关实践的决策与组织管理等问题，也就成为系统的决策与组织管理问题，在这种情况下，系统的理论方法和技术应用到社会实践或工程中去，也就是很自然的事情了。

要把系统工程应用到实践中，就必须有个运用它的实体部门，以航天为例，航天系统中每种型号都是一个工程系统，对每种型号都有一个总体部，总体部就是运用系统工程的实体部门。总体部由熟悉这个工程系统的各方面专业人员组成，并由知识面比较宽广的专家（称为总设计师）负责领导。根据系统总体目标要求，总体部设计的是系统总体方案，是实现整个系统的技术途径。总体部把系统作为它所从属的更大系统的组成部分进行研制，对它所有技术要求都首先从实现这个更大系统的技术协调来考虑；总体部又把系统作为若干分系统有机结合的整体来设计，对每个分系统的技术要求都首先从实现整个系统技术协调的角度来考虑，总体部对研制中分系统之间的矛盾，分系统与系统之间的矛盾，都首先从总体目标的需要来考虑。运用系统方法并综合运用有关学科的理论与方法，对型号系统结构、环境与功能进行总体分析、总体设计、总体协调，包括以计算机和数学为工具的系统建模、仿真、分析、优化、试验与评估，以求得满意的和最好的系统方案，并把这样的总体方案提供给决策部门作为决策的科学依据。一旦为决策者所采纳，再由有关部门付诸实施。航天型号总体部在实践中已被证明是非常有效的，在我国航天事业发展中，发挥了重要作用。

这个总体部所处理的对象还是个工程系统。但在实践中，研制这些工程系统所要投入的人、财、物、信息等也构成一个系统，即研制系统。对这个系统的要求是以较低的成本、在较短的时间内研制出可靠的、高质量的型号系统，对这个研制系统不仅有如何合理配置资源的问题，还涉及体制、机制、战略、规划、计划、政策措施以及决策与管理等问题，如图 14-10 所示。

显然，这个系统要比工程系统复杂得多，属于社会系统范畴。如果说工程系统主要依靠自然科学技术的话，那么这个研制系统除了自然科学技术外，还需要社会科学与人文科学。如何组织管理这个系统，也需要系统工程，但工程系统工程是处理不了这类系统的组织管理问题的，需要社会系统工程。

应用社会系统工程也需要有个实体部门，这个部门就是前面提到的运用综合集成方法的总体部，这个总体部与航天型号的总体部比较起来已有很大的不同，有了实质性的发展，但从整体上研究与解决问题的思想还是一致的。

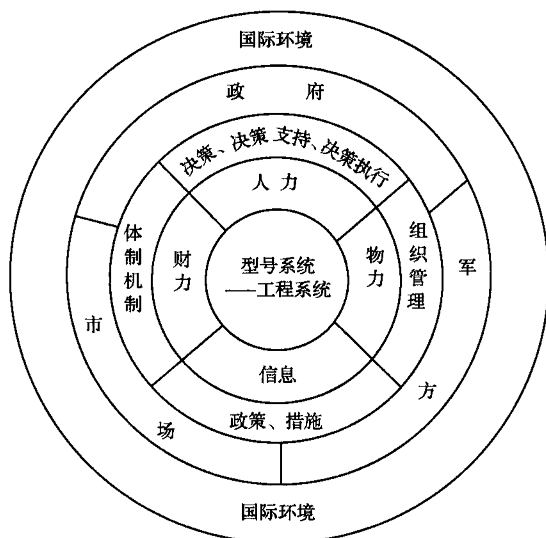


图 14-10　航天型号研制系统工程

14.3.5　综合集成思想

通过以上几点讨论，可以看出有一条主线贯穿其中，这就是综合集成思想。所谓综合集成思想就是把还原论思想和整体论思想结合起来的系统论思想。

还原论思想以分为主，从整体到部分、由上往下分解，以为低层次和局部都清楚了，整体也就清楚了，在这个思想指导下形成了还原论方法。这个方法在自然科学中占据了主导地位，也确实促进了自然科学的发展，取得了很大成就。但随着科学技术的发展，还原论方法的局限性也日益凸显出来。

彼塔朗菲比较早就意识到了还原论方法的局限性，提出还应从整体上研究问题的整体论思想和整体论方法。虽然支撑整体论方法的方法体系没有发展起来，但整体论思想和方法的提出是对科学思想和科学方法的一大贡献。钱学森提出把还原论思想和整体论思想结合起来的综合集成思想。这是科学思想的又一个重要发展。综合集成思想在方法论层次上的体现就是综合集成方法。运用综合集成方法所形成的系统理论和系统技术，是综合集成思想在科学、技术层次上的体现，而综合集成工程则是综合集成思想在实践层次上的体现。

综合集成思想是系统思想的重要发展，也是科学思想的重要发展；综合集成方法是系统方法的重要发展，也是科学方法的重要发展。综合集成思想、综合集成方法，必将对科学技术的发展做出积极贡献，特别是在科学技术向综合性、整体化方向的发展中将发挥重要作用，这是钱学森对现代科学技术发展具有深远影

响的重大贡献。另一方面，综合集成思想、方法及工程具有重要的实践意义。就在前不久，胡锦涛总书记在两院院士大会上指出“落实科学发展观，是一项系统工程，不仅涉及经济社会发展的方方面面，而且涉及经济活动、社会活动和自然界的复杂关系，涉及人与经济社会环境、自然环境的相互作用。这就需要我们采用系统科学的方法来分析、解决问题，从多因素、多层次、多方面入手研究经济社会发展和社会形态、自然形态的大系统。”并进一步指出：“要把自然科学、人文科学、社会科学等方方面面的知识、方法、手段协调和集成起来，不断认识和把握社会发展的客观规律，对科学发展观进行周密的科学解释，为科学发展观提供坚实的科学理论基础”。从以上关于综合集成的几个层次的讨论中可见，这套理论方法必将为落实科学发展观做出积极贡献。

于景元　周晓纪

选自《管理学报》第 2 卷第 1 期，2005 年 1 月。

参考文献与注释

[1] 戴汝为，郝红卫，肖旭红．集成型汉字识别方法与系统．杭州：浙江科学技术出版社，1998.

[2] Xu L，Krzyzak A，Suen C Y. Methods of combining multiple classifiers and their applications to handwriting recognition. IEEE Transactions Systems，Man and Cybernetica，1992，27（3）：418-435.

[3] Kittler Hatef M，Duin R P W，et al. On combining classifiers. IEEE Transactions Pattern Analisis and Machine Intelligence，1998，20（3）：226-239.

[4] Ho T K，Hull J J，Srihari S N. Decision combination in multiple classifier systems. IEEE Transactions Patteern Analysis and Machine intelligence，1994，16（1）：66-75.

[5] Hao H W，Xiao X H，Dai R W. Handwritten chinese characte recognition by metasynthesis approach. Pattem Recognition，1997，30（8）：1321-1328.

[6] 钱学森，于景元，戴汝为．一个新的科学领域——开放复杂巨系统及其方法论．自然杂志，1990，13（1）：3-10.

[7] 戴汝为，王珏，田捷．智能系统的综合集成．杭州：浙江科学技术出版社，1995.

[8] Rucky D W，Rogers S K，Kabrisk M，et al. The multilayer perceptron as an approximation to a Bayers optimal discrimination function. IEEE Transactions Neural Network，1990，1（4）：296-298.

[9] 钱学森，于景元，戴汝为．一个科学新领域—— 开放的复杂巨系统及其方法论．自然杂志，1990，13（1）.

[10] 钱学森．再谈开放的复杂巨系统．模式识别与人工智能，1991，4（1）.

[11] 戴汝为．从定性到定量的综合集成技术．模式识别与人工智能，1991，4（1）.

[12] 戴汝为．从定性到定量的综合集成法——开放的复杂巨系统的方法论．见：刘元亮．来自科学前沿的报告．北京：清华大学出版社，1996.

[13] 王寿云．军事系统工程．见：现代作战模拟．北京：北京知识出版社，1984.

[14] 北京大学现代科学与哲学研究中心．钱学森与现代科学技术．北京：人民出版社，2001.

[15] 李夏，戴汝为．系统科学与复杂性（I）．自动化学报，1998，24（2）.

[16] 李夏，戴汝为．系统科学与复杂性（Ⅱ）．自动化学报，1998，24（4）.

[17] 戴汝为．认知科学进展．中国科学基金，1997，11（1）.

[18] 戴汝为．智能科学与工程（人机的结合）．见：中国科学院第七次院士大会报告摘要汇报，1994.

[19] Jaimes A，Preze D G，Sebe N，et al. Human-centered computing，toward a human revolution. IEEE Computer，2007，40（5）.

[20] Jaimes A，Preze D G，Sebe N，et al. Human Centered Computing，a Multimedia Perspective，ACM International Conference Multimedia. Califonia：Santa Fe Institute Barba，2006.

[21] 李耀东，崔霞，戴汝为．从定性到定量的综合集成研讨厅体系的理论框架设计与实现．复杂系统与复杂性科学，2004，1（1）.

[22] 孙东川，林福永，孙凯．系统工程方法论与方法论系统工程．见：钱学森系统科学思想研究．上海：上海交通大学出版社，2007.

[23] 国家自然科学基金．宏观经济决策的人机结合综合集成体系研究，2004.

[24] 钱学森．创建系统学．太原：山西科学技术出版社，2001.

[25] 钱学森，于景元，戴汝为．一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论．自然杂志，1990，（1)：310

[26] Worldrop M. 复杂——诞生于秩序与混沌边缘的科学．陈玲译．北京：三联书店，1997.

[27] Gallagher R，Appenzeller T. 超越还原论．见：戴汝为．复杂性研究文集，1999.

[28] 李政道．微观与宏观的统一．科学世界，2000，（1)：1.

[29] 于景元，周晓纪．综合集成方法与总体设计部．复杂系统与复杂性科学，2004，（1)：22-24.

[30] 钱学森．我们要用现代科学技术建设有中国特色的社会主义．见：1991 年在“90 年代科技发展与中国现代化”系统讲座上的讲话——创建系统学．太原：山西科学技术出版社，2001：256-269.

第十五章 关于思维科学工程技术问题的探索

15.1 从智能模拟到智能工程[①]
——论人工智能研究范式的转变

15.1.1 导论

从古老的哲学、心理学到现代的生理学、脑科学和认知科学，都把人的心智作为研究的重要内容。计算机的出现使人们在人脑和计算机之间找到了某些相似之处，于是把计算机与人脑相类比，并形象地称之为“电脑”。把计算机和人脑相类比，隐含着一系列假设：

人的智能行为来源于人的智能，而人的智能来源于人脑，即人脑→智能→智能行为；

人脑是一个处理信息的装置，既然人脑可以产生智能，作为处理信息的计算机也应能产生智能和智能行为。

上述假设深深根植于西方哲学悠久的传统。亚里士多德和柏拉图确信，思想和其他物理现象一样，是可以通过科学观察和逻辑推理加以阐明的。莱布尼茨把思想等同于计算，布尔更是在这一思想基础之上，提出了命题逻辑演算系统。莱布尼茨的思想和布尔的理论，为计算机的产生奠定了基础。

如果仅从计算和符号处理的角度看待智能，那么计算机已经表现出了一定程度的智能，其计算和符号处理能力甚至超过了人类。然而，计算机研究的先驱者们并不满足于此。他们期望计算机能够表现出更多的智能行为。图灵，这位人工智能思想的奠基人，早在人工智能出现之前（1950 年），就提出了机器能否思维的问题。图灵建议，不是问一个特别的机器能否思维，而是问它能否通过“图灵测试”。在图灵看来，判断机器是否具有了智能，唯一的办法是看它是否具有了与人一样的智能行为。

“图灵测试”给出了判断智能的行为主义标准，它似乎也预示着，机器智能的研究首先应从智能行为入手。然而，人工智能的提出（1956 年）改变了这一早期的方向。人工智能从一开始就把研究集中在数学定理证明、具有有限学习功

① 本项目得到国家自然科学基金、攀登计划、863 智能计算机主题、国家教委博士点基金资助。

能的跳棋程序等一些纯智力问题的解决上。由于这些问题被认为是只有通过智能才能完成的困难问题，计算机在这一极其有限的领域内取得的一些成果，使人工智能的开创者们对人工智能寄予了过高的期望，并作出了过于乐观的预测。他们的基本信条是：人类智能行为决定于人类的智能，因此，人工智能的最高目标是使机器能达到人的智能水平，研究的主要途径是要模拟人类智能。虽然生理学家、心理学家及哲学家们对人类智能的认识还非常肤浅，但人工智能的研究者们则对智能的本质作出了各种大胆的假设，比如：

物理符号系统假说：任何达到人类智能水准的智能系统至少在本质上可看做一个符号处理系统[1]；

知识原理：智能就是在一个（观察者的直觉看来）巨大的搜索空间中，迅速找到一个满意解的能力。智能行为决定于知识，决定于知识的知识量及一般化程度[2]；

联接主义假设：智能是众多并行分布的神经元相互作用的结果；

智能（严格地说是智能行为）是控制和自然环境综合作用的结果[3]。

基于上述假设，人工智能进行了广泛的研究，形成了众多学派：逻辑主义，认知学派，知识工程学派，联结学派，进化学派，分布式学派[4]。虽然人工智能的研究者们进行了种种努力，但并没有实现早期的预言。时至今日，人工智能虽然取得了一些成就[5]，但并没有取得实质性的进展，真正意义上的人工智能系统也没能在实际中得到广泛应用——人工智能遇到了前所未有的困难，招致了种种批评。

15.1.2 智能、载体与智能行为

人工智能之所以遇到如此大的困难，根本原因在于它所追求的目标和研究途径。为了阐述我们的观点，首先需要界定几个基本概念。

1. 智能与智能行为

“智能行为”是一个行为主义的概念。什么样的行为才算智能行为呢？很难给智能行为下一个准确的定义，只能把具有某些特征的人类行为划为智能行为。显然，人类行为的全部并不都是智能行为。有些最基本的人类行为（如进食、性行为）与智能无关，不能称为是智能行为，但饮食文化或性文明则是人类智能行为（创造这些文明和文化）的结果，接受或遵从这种文明或文化就是一种智能行为。智能行为大致包括两种类型的活动：认知活动和常识活动。环境识别、学习、规划、非程序性决策等都属于认知活动；而日常的工作、交往、娱乐、程序性决策等都属常识活动。人类大部分时间是在各种软性和硬性约束下从事常识活动的。

“智能”表达的是一种内在的能力。通常意义上它是指人的知觉、记忆、学习、思维、理解等心理能力的总和。一个人具有了智能就具有了认识世界和改造世界的能力，具有了理解、学习、语言、决策等认知能力和按照规范和约束进行常识活动的能力。智能往往与理智、智力、推理或创造力联系在一起。哲学家们对智能范畴缺乏充分的分析，把智能理解为人类理智固有的功能，理解为追求真理和知识的活动。心理学在实验心理学的影响下，把智能说成是某种能力测验所测出来的东西[6]。总的说来，人类对于智能的认识还非常肤浅，对于智能的本质可以说是一无所知。不过可以肯定的是，智能与智能行为是两个完全不同的概念。

区分了智能和智能行为，再来看看智能与智能行为之间的关系。具有智能行为的人肯定要具有一定的智能，但智能作为一种内在的能力并不是智能行为的唯一决定因素。人和动物在行为方面的共同之处在于行为不仅由内在的能力机制决定，还由外在的自然环境决定。行为是行为者和环境交互作用的结果。行为主义心理学家用S-R（刺激-反应）来解释这种交互；认知学派在刺激和反应之间加了一个心智过程，即用S-P-R（刺激-加工-反应）来解释这种交互。

人类的行为与动物行为有相同之处，更有许多不同之处，除了人类拥有发达的大脑外，更重要的是人类创造和累积了宝贵的物质文明和精神文明，创造了人类个体赖以生存的社会环境。对于人类智能行为，除了由内在的智能和外在的自然环境决定外，还由人类文明环境或社会环境决定。人，不同于生活在茫茫荒原上孤独的野狼可以随心所欲，飘忽不定。人总是生活在各种各样的组织之中：家庭、单位、社区等等，遵循着各种各样的社会约束（法律、道德、宗教）。人类社会是一个契约社会，任何个人都不可能完全凭自我意志为所欲为。这种社会约束的形成，也不是一朝一夕所能完成的，而是人类社会经过千万年的社会实践和进化，逐渐完成的。人的智能行为，也不能脱离这个社会约束。一个简单的例子是，人类的日常活动总是遵循着社会传统和规范（如法律规范、道德规范），违反这种传统和规范的行为，从纯智能的角度可能仍被认为是智能行为，但从社会的角度就很难被认为是智能行为了。生活经验告诉我们，绝大多数人的日常活动由于受到自然环境和社会环境的约束，而成为一种程序性的活动。科学研究是一种典型的智能行为，一种认知活动，它或多或少要受到科学范式的影响[7]。常识活动，是一种受到更多约束的活动。因此，智能和智能行为不是简单的决定与被决定的关系，它们之间相互作用：人的智能行为是由智能、自然环境和社会环境综合作用的结果，而人的行为包括智能行为对智能的形成也起着重要的促进作用。

2. 智能与载体

智能与载体的关系问题是哲学家和人工智能研究者们争论的一大问题[8]。一种观点认为，认知活动可以在知识和概念的层次上研究，而与感知的研究分开来进行。另一派认为，作为载体的硬件，尤其是感知器和运动器部分，与环境和目标共同刻画了当前的问题。认知活动是不能脱离载体而独立存在。

计算机作为一个通用模拟器，可以模拟云的形成、动物的行走等自然界中存在的各种东西，也可以模拟人的智能。模拟的效果可能很逼真，也可能非常拙劣。在智能模拟过程中载体可以被考虑，也可以不予考虑。

然而，人的智能在形成过程中，如果没有载体的配合是无法想象的，因为智能是在广泛的社会实践中形成的[6,9]。一个人，从一生下来可能就没有听觉、视觉或触觉，如果能够在适当的引导下积极参加社会实践活动，他照样能获得智能。美国著名盲人作家海伦就是一个例子。另一方面，一个大脑和四肢都健全的人，如果一生下来就与环境隔绝，或与人类社会隔绝，则这个人就不可能获得健全的智能。心理学家已经证明，人如果与环境完全隔绝一段时间，首先会引起心理问题，如出现幻觉、烦躁不安、无法思考等，最终会出现精神崩溃导致死亡。与世隔绝连生存的可能都没有，更谈不上获得智能了。而有关“狼孩”的事实，表明了智能的获得离不开人类社会环境。发生认识论的创始人、著名心理学家皮亚杰在研究儿童认知发展时指出：智能乃是最高形式的适应，是有机体的行为与环境之间的平衡，是主客体的相互作用，是一种双向建构的过程。他强调知识来源于活动，图式（schema）是一种实践的概念[6]。

可见，模拟智能可以不考虑载体，但智能本身与社会实践息息相关，智能在形成过程中是不可能脱离载体而发生和发展的。当然，人的智能形成以后也许可以部分地脱离载体，但这种脱离载体的智能即使存在也会不断退化。

3. 个体智能、社会（群体）智能与智能行为

“三个臭皮匠顶个诸葛亮”是对个体智能与社会智能最形象的说明。社会智能由于能够在个体智能之间取长补短而发挥更大的作用，体现了更高水平的智能。社会智能是通过社会交往、社会分工和社会协作才得以实现的。也就是说，个体智能只有通过个体之间彼此交互才能产生社会智能。个体之间的交互并不是完全随机、自发或完全自由的，存在着社会环境和自然环境的约束。在这些约束之下，才谈得上人们的日常交互：彼此交换信息，分工，协作，承诺，订立合同，制定规章等等。因此，个体智能的形成和发展，离不开环境，个体的智能行为更要受到环境的约束。

以上我们从人类的角度简单阐述了几个概念的联系与区别。对这些基本概念

的界定和认识，有助于我们对人工智能方法论的认识。通过以下的分析可以发现，人工智能研究中出现的一些困难绝不是偶然的，其主要根源在于在方法论上过分强调了人工智能的智能模拟途径。

15.1.3 智能模拟的局限性与人工智能的新途径

人类具有计算和符号处理能力，计算机也具有这种能力，某种意义上计算机比人的计算能力更强。问题在于，如果把计算和符号处理能力作为产生一切智能（自然或人工智能）的唯一基础，自然就产生了机器智能能否赶上甚至超过人类智能的问题。传统的人工智能研究者们是这一问题的极端乐观主义者。他们对人的智能作出种种假设，然后加以模拟。人工智能的最高目标似乎就是模拟出具有甚至超过人类智能水平的机器智能。国内也有人提出了同样的观点如文献［4］、［10］。然而，把人工智能的研究局限于智能模拟，存在很大的局限性。

首先，人类对于智能的本质还没有充分的认识，人工智能只能在假设的基础上进行模拟。人工智能试图模拟并不十分了解的人类智能，只能看成是在研究人类智能，计算机不过是这一研究工作的工具，很难说我们是在研究具有智能行为的机器。如果按照这一研究方向继续下去，人工智能最多只能获得各种思维模型，无法获得具有一定智能行为的计算机系统。目前看来，人工智能关于智能的假说也缺乏坚实的科学基础，正如图灵奖获得者 Wilkws 所说，没有理由认为人脑是数字设备。以数字或模拟划分，对于刻画人脑的功能是完全不合适的。Wilkws 认为，图灵意义下的智能行为超出了数字计算机所能处理的范围[11]。人工智能所遇到的巨大困难似乎在一定程度上证实了他的假设。因此，人工智能不应局限于人类智能的模拟，应该更多地从研究人类智能行为入手，开发出具有一定智能行为的系统。这种智能行为不应是图灵意义下的智能行为，而是它的一个子集，即一种要求更低的、受到更多约束的智能行为。

被称为应用人工智能的知识工程（以 Feigenbaum 为代表）取得了有限的成功，这种有限的成功不是由于更好地模拟了领域专家的智能，而是由于从专家行为的角度，更多地考虑了专家行为的社会环境（领域知识）的约束。以 Brooks 为代表的进化学派肯定了没有表示的智能的存在，认为机器的智能行为来源于控制和自然环境，而不是来源于某种抽象的、脱离载体的智能。Brooks 的方法强调了自然环境对智能行为的决定作用[3]。在我们看来，知识工程方法、Brooks 方法以及 McCarthy 所提倡的常识和推理[12]，存在某种共同之处，它们都不是传统意义上的智能模拟，而是强调了环境对智能行为的决定作用，只不过知识工程和常识方法强调了社会环境（领域知识和常识），而 Brooks 方法强调了自然环境。在这个意义上，知识工程或常识理论中的“智能”就是指推理机的推理或搜索能力，Brooks 中的“智能”就是某种控制机制，它们是智能行为的基础，而

智能行为的其他方面都可以归于环境的作用。

其次，人工智能一直致力于个体智能的研究，只在近几年才转向了社会智能的研究[13,14]。但这种多 Agent 系统的研究并没有改变人工智能注重智能模拟的主流，只不过从过去的个体智能的模拟转向社会智能的模拟。对智能进行模拟，技术上已经表现出了极大的困难，即使有朝一日模拟智能达到了人类智能的水平，从法律、道德和心理上看，这种智能也是人类所不能和不愿接受的。试想，一个 Agent 作出了违反道德的决策（如窃取别人的信息、给别人发恐吓电子邮件），该由谁来负责呢？Agent 还是它的主人？很多情况下，拥有选择和决策权是人的权利、地位的象征，是自我价值实现的需要，人们愿意放弃这种权利，把它交给一个或一群可以自作主张的 Agent 吗？至少我是不会把选择村长的投票权轻易交给我的 Agent 的。因此，虽然许多人工智能的研究者们把研究出具有人类智能水平的 Agent 作为自己毕生的追求，但人类从根本上并不欢迎这种可以完全自主的 Agent 们。人们更愿意拥有一个或一些自己的忠实信徒或忠实代理（这才是 Agent 的真正含义），它们在常规问题上可以自主处理，但在关键决策和重要问题上，却要和主人交流，得到主人的指示后再继续行动。Agent 不应是完全自主的行为主体，而是可以进行人机合作的半自主的智能代理。

哲学家 Dreyfus 针对当时人工智能遇到的困难，早在 1979 年就提出了人与机器相结合的主张[15]。戴汝为提出了人机结合的“大成智慧”[16]，认为人工智能的研究要把控制系统和知识系统结合起来，控制论研究的是被控对象与环境之间的关系（具有较好的统计特性），而知识工程采用的是不具有统计特性的规则和启发式搜索。图灵奖获得者 Reddy 也指出：人的智能与 AI 既不等同也不能相互替代，它们各有千秋，互为补充[5,17]。

由此，我们认为：人工智能研究的主流应从完全自主的机器智能转向人机合作的“大成智慧”，从智能模拟转向智能行为的开发。开发具有智能行为的人机合作系统应成为人工智能今后研究的主要方向。

15.1.4　智能工程：一种新的人工智能研究范式

人工智能不应沦为认知科学或心理学的一个分支，它应该真正成为计算机科学的一个分支。人工智能要关注心理学家、脑科学家、认知科学家们的研究成果，更应发展一种新型的机器智能行为的理论：人机合作的智能行为理论。作为计算机科学的一个分支，人工智能也应遵循计算机科学的一般原则，那就是“不应该把计算机与工程严格分开，任何想分离这两者的意图都不会有结果的”，而且“计算机科学领域中的工程与更经典的工程实践相比还有一些不同的特色。计算机科学中的许多工程问题并不受限于物理定律，它们同时还要求创造新的工程模式和方法学”[18]。因此，开发具有智能行为的人机合作系统应成为人工智能今

后研究的主要方向。这种系统的开发，不仅涉及传统的人工智能理论（如推理、搜索），还涉及控制论、系统论（系统与自然环境之间的关系），涉及知识工程、常识理论、Agent 理论（Agent 构造、Agent 与 Agent、Agent 与人、Agent 与社会环境的关系等），还涉及软件工程（系统的分析、设计与建造）。与传统的以智能模拟为核心的人工智能研究相比，这是一种新的研究范式，可以称之为智能工程。

1. 智能工程与信息环境

传统人工智能基于封闭世界的假说和智能模拟的研究范式，把主要精力放在各种算法（如从经验中学习、自然语言理解等算法）的研究上[5,17]。今天，人们更加倾向于人机合作 Agent 的开发。特别是，Internet 和 Intranet 的兴起，为人机合作 Agent 的开发提供了巨大的应用舞台和发展空间。因为，按照我们的观点，网络和网络上的大量信息构成了 Agent 的生活环境。智能工程的任务就是如何开发能够适应这种环境的人机合作的 Agent 或 Agent 系统。

Leary 把 AI 的复兴寄托在 Internet、Intranet 上[19]。他指出“AI 已经历了大约 40 年，然而，在有些人看来，它并没有达到当初的（也许被夸大了的）诺言。许多领域给 AI 出了难题，而许多专家系统要么过于狭窄要么过于脆弱。但 Web 是 AI 极好的环境，因为 AI 根植于问题求解和知识表示”。他在文中还描述了迅速增长的基于 Web 的 AI 应用：智能搜索引擎和浏览器，学习 Agent，知识共享 Agent。Nardi 等在文献［20］中也描述了一个“合作的、可编程的智能 Agent”：Apple Data Detectors。

2. 智能工程与软件工程

传统人工智能对 Agent 的研究主要集中在如何模拟智能上，关于 Agent 也没有一个公认的定义。可喜的是，人工智能研究者们已经注意到了这个问题。有关 DAI 的研究就说明了从个体智能的研究转向社会智能研究，这是人工智能研究方法论上的一大转变；而从注重抽象 Agent 的研究到注重软件 Agent[21]、基于 Agent 的分布计算环境[22]、基于 Agent 的软件工程[23]、面向 Agent 的软件工程[24]以及面向 Agent 的分析与建模[25]，是人工智能研究方法论上的又一大转变。工程化、实用化的人工智能已成为人工智能今后的重要发展方向[26]，它标志着人工智能从智能模拟正逐步转向智能工程。

AI 研究从智能模拟转向智能工程的另一个重要标志是，AI 研究者们越来越重视系统建造的工程问题。在通常意义上，AI 系统（特别是大型 AI 系统）也是个软件系统，它们存在与一般复杂软件系统同样的问题，如“不能按时完成”，“超过预算”，“系统脆弱”等等，甚至存在比一般软件系统更难以把握的东西[5]。

Reddy 总结了一些在 AI 中出现但适用于所有计算机科学的方法和方法论，其中包括：

① 即插即用体系结构：AI 系统往往包括许多智能成分，如从经验中学习、使用知识、容错、使用语言、实时操作等，为了给出一个一致的概念说明，不可能每一次都从零开始。可以在接口和体系结构的基础上使用即插即用构件完成系统的构造。

② 80/20 规则：人工智能多年的历史表明，想要建造表现出智能行为的系统是一项多么困难的任务。最近的范式发生了转移，即从建造完全取代人类能力的自主的系统转向建造支持人类主人的智能 Agent 系统。可以把 80%的工作交给机器，20%的工作留给用户。这样，下一个研究目标将只有这 20%。对此 20%，同样可以采取 80/20 规则。这样，系统将不断接近人的能力，而每一次接近都能提供可以提高人的生产率的可使用的系统。

上述这些新的概念和方法论表明，人工智能更加注重人机合作系统的开发（80/20 规则），注重智能系统的工程问题（即插即用体系结构）。这也表明，智能工程作为一个新的研究范式是符合人工智能发展趋势的。

15.1.5　结束语

人工智能经历了 40 多年的风风雨雨，虽然取得了一些成就，但离人们当初的期望还有很大的距离。实践证明，基于智能模拟的人工智能研究范式存在巨大的困难。人们迫切需要从智能模拟转向一种更加实用的、工程化的研究范式：智能工程。传统人工智能理论、控制论、系统论、Agent 理论、软件工程，为智能工程提供了坚实的理论和工程基础，而 Internet、Intranet 的兴起和广泛应用，为实施基于智能工程的研究范式提供了广阔的舞台。

周永林　潘云鹤

选自《计算机科学》，第 26 卷第 7 期，1999 年。

15.2　灵境（虚拟现实）是建立人机和谐仿真系统的关键技术

15.2.1　引言

应该承认，最近数十年来计算机技术的进展已大大地减小了人与计算机之间的隔阂，从而为建立人机和谐的仿真系统提供了较理想的技术支持。例如近年来计算机技术中的两个 M 和两个 0 等技术，它们是大规模并行处理（massively parallel processing）技术、多媒体（multimedia）技术、开放系统（open sys-

tem）技术和面向对象（object-oriented）技术。但这些技术尚未能从根本上解决现有的计算机的不合理性。人们已经深刻地认识到，为了适应未来信息社会的需要，必须提高人与信息社会的接口能力、提高人对信息的理解能力，因为这是发挥信息的共享性和增值性的首要前提条件，也是建立真正的人机和谐的仿真系统的基础。为此就驱使我们去探讨什么是表示、传送和处理信息的最佳技术途径？比较一致的认识是：能较完整地表示概念、能较迅捷地传递概念、能以符合人的感知和认知过程的方式对概念进行加工的方法就是较理想的信息表示和处理的途径，它就能使人完成某个智力任务的行为过程得到较大的改善，就使人与计算机的关系变得更为和谐了。

总之，为了适应于21世纪信息社会的需要，为了建立人机和谐的仿真环境，参试者不仅仅要求能通过打印输出或显示屏幕上的窗口，从系统外部去观察信息处理和仿真的结果，而且要求能通过参试者的视觉、听觉、触觉、嗅觉，以及形体、手势或口令，参与到仿真系统中去，从而取得身临其境的体验。这种信息处理和仿真系统已不再是建立在一个单维的数字化的信息空间上，而是建立在一个多维化的信息空间之中了，建立在一个定性和定量相结合、感性认识和理性认识相结合的综合集成环境中。VR（virtual reality，灵境或虚拟现实）技术将是支撑这个建立在多维信息空间（cyberspace）上的仿真系统的主要关键技术。

15.2.2 建立人机和谐仿真的关键技术

怎样从技术角度去说明传统的仿真系统和建立在多维信息空间上的仿真系统的主要特点呢？Burdea 在 Electro’93 International Conference 上所发表的 *Virtual Reality Systems and Applications* 一文中，曾提出了一个“灵境技术的三角形”，它较简捷地说明了灵境系统的基本特征，即三个“I”，它们是 Immersion-Interaction-Imagination（沉浸-交互-构想），如图 15-1 所示。

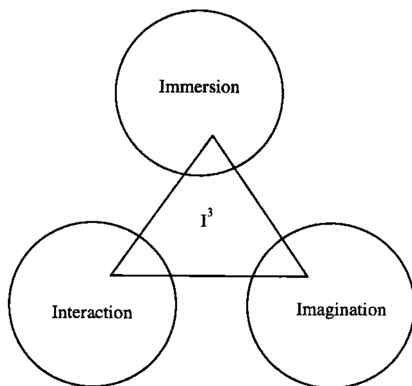


图 15-1 灵境技术三角形

应该指出，这三个"I"不只是灵境系统的三个基本特征，也可用它来说明人机和谐仿真系统的主要特征。在传统的仿真系统中，参试者或是只能从系统的外部去观测计算处理的结果，或是投入到实际的物理系统中参与联试，但无法使参试者沉浸到一个由计算机系统所创建的虚拟环境中、与虚拟环境发生交互作用、并得到与投入到实际的物理参与联试所获得的相同（或相似）的感受。

构建一个建立在多维信息空间上的人机和谐的仿真系统的基本手段和目标就是利用并集成高性能的计算机软硬件及各类先进的传感器，去创建一个使参与者处于一个具有身临其境的沉浸感、具有完善的交互作用能力、能帮助和启发构思的仿真环境。图 15-2 表示出构建这样一个仿真系统的根本目的、应克服的主要技术瓶颈和所需的基本计算机软硬件支撑技术。

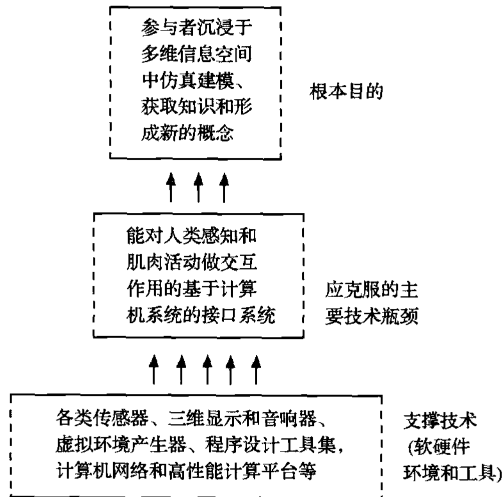


图 15-2　仿真系统

显然为了构建这样一个仿真系统，在硬件方面至少需要有以下几类设备的支持：

跟踪系统：以确定参与者的头、手和身躯的位置；

触觉系统：提供力与压力的反馈；

音频系统：提供立体声源和判定空间位置；

图像生成和显示系统：产生视觉图像和立体显示；

高性能计算处理系统：具有高处理速度、大存储容量、强联网特性。

在软件方面，除一般所需的软件支撑环境外，主要是提供一个产生虚拟环境的工具集或产生虚拟环境的"外壳"。它至少应具有以下的功能：

能够接受各种高性能传感器的信息，如头盔的跟踪信息；

能生成立体的显示图形；

能把各种数据库（如地形地貌数据库、物体形象数据库等）、各种 CAD 等软件进行调用和互联的集成环境。

与传统的大型实时仿真系统中的软件相同，建立在多维信息空间上的人机和谐仿真系统也具有实时处理、网络计算、图像处理、物理建模和多任务处理等特点，但它更强调和进一步发展了面向对象和超媒体编辑等特点。

1. 灵境系统编辑器

在这种仿真系统中被编辑的对象不仅是文字、表格和图形等，而是虚拟空间中用多维信息所描述的对象，以及真实世界（包括参与者本人的手、身躯等在内）在虚拟空间中的映射。用户最终是通过头盔显示器或其他显示器来观察编辑的结果，并利用这些被编辑的“对象”和“映射”构成他所需的灵境系统。

图 15-3 是一个最简单的灵境开发系统的示意图，其中表示编辑器的作用。

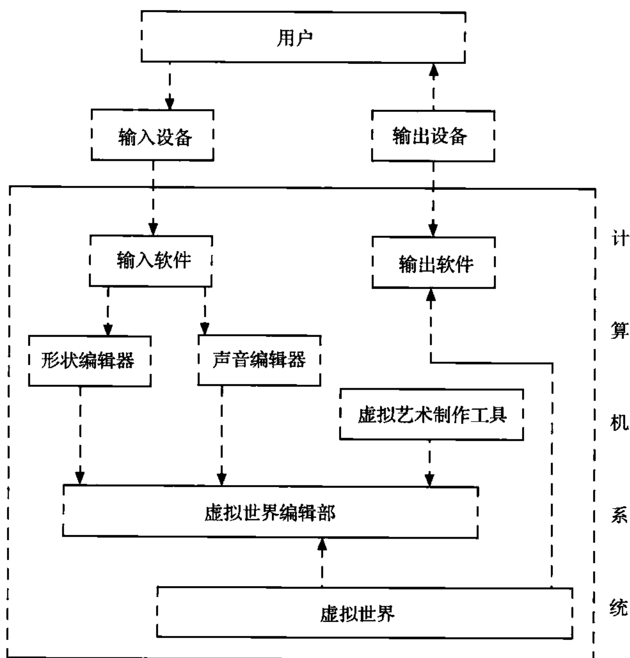


图 15-3　灵境开发系统

2. 描绘件（RenderWare）

为了使在虚拟空间中的物体具有立体感和质感，当处理系统接受到经压缩算法加工后的、用若干个多边形所表示的物体后，必须经过一个解释和描绘的过

程，包括多边形的平滑、单（或多）投光点的确定、观察点的确定、着色、阴影、纹理等。最简单的描绘方法称为平面阴影法（faceted or flat shadlug），较为复杂些的描绘方法是强化插入阴影法（intensity interpolation shading or " gouraud" shading），它是基于每块多边形的顶点的法线去描述虚拟物体的表面的。

从软件开发过程的观点看来，这种"描绘"相当于一个较复杂的"解释"或"编译"过程。所以在大部分灵境开发系统中都提供一个庞大的描绘功能库，它是独立于具体的硬件系统的，用户可在用 C 或 C++的程序中调用这个描绘库中的各种功能，如生成各种几何形状、着光、着色、形状转换、聚合、分解、属性提取等。人们把这种可在各类计算机平台上运行的描绘软件统称为描绘件。例如在由 Canon Research Europe 所开发的描绘件的协助下，在不使用图形处理加速卡的情况下，在一秒钟内，50MHz 的 PC 可对 35 000 个多边形、Sun Sparc2 可对 82 000 个多边形、Sun10 可对 100 000 个多边形作强化插入阴影法的描绘。

3. 3-D 创作接口

上述的描绘件主要用于对虚拟环境中的物体的描绘，使之具有一定的真实感，但并不能使用户具有亲临其境的沉浸感。例如在 Division 公司所开发的 3-D 创作接口"Amaze"支持下所创作的虚拟环境，能使用户具有初步的沉浸感。

在 Amaze 3-D 创作接口软件的支持下，用户在戴上数据手套（或一种比数据手套简单些的敏感手套）后，通过对 3-D 图符的选用，可用手势选取和控制对象，还能改变对象的大小、形状、颜色、光照、纹理，以及对象间的相互关系，使用户具有初步的沉浸感。

Amaze 3-D 创作接口软件也能支持 2-D 的 Window 的接口，用鼠标和键盘选用各种造型图符、描绘图符。Amaze 还能很方便地与其他一些 CAD 软件、绘图软件相联（如 AutoCAD、3-D Studio 等）。

Amaze 3-D 创作接口软件也是完全建立在面向对象的方法原理上的，不论是用声、图或文所描述的对象，在 Amaze 中都按统一的面向对象的机理和规范进行处理的。每个对象都有与之相应的一些方法（或称为事件行动），如方法 PICK 的功能是调用某个对象、方法 DROP 的功能是释放某个对象、方法 MOVE 是移动某个对象等。

为了能够在多维的信息空间上建立起一个真正人机和谐的仿真系统，除了继承和发展已有计算机技术和仿真技术的成果外，还必须在以下各方面开展深入的研究工作，如：

① 虚拟世界的结构表示技术。其中包括地形地貌及其变化的表示、声音与运动图像的同步、虚拟物体质感的表示、视景图像的生成与显示，复杂图像生成的快速算法等。

② 目标的定位与跟踪技术。其中包括人体跟踪、面部跟踪、手部跟踪等。

③ 临场感作用技术。其中包括立体声场的计算和空间声的合成、自然语音合成、压力和失重、嗅觉模拟等。

④ 虚实世界的结合技术。其中包括参与者晕眩感的消除、虚实物体和场景的嵌套、遥操作技术等。

15.2.3 结论

总之，建立人机和谐的仿真系统是多快好省地开展大型系统设计和研制的重要手段，而灵境技术又是实现这一目标的关键技术，因此我们应十分重视在我国开展灵境技术研究的战略研讨，并制定具体的技术路线。当前应避免两种倾向：

一种倾向认为目前的灵境技术尚不成熟，离开实际应用还有很大的距离，因此目前我国只限于对这个领域做情报性的跟踪。

另一种倾向是对灵境技术的发展现状过于乐观，认为我国应立即、全面地开展对灵境技术和产品的研究和制造工作，甚至一哄而起。

我们的基本认识是：灵境技术将在未来的应用（特别是仿真模拟）和商品（特别是文化娱乐）领域内的具有很大的潜力，但目前尚处于开拓时期，刚刚达到在某些领域具有一定程度的可用性，还存在着很多必须克服的理论和技术障碍。我国应遵循“需求牵引、技术推动”的原则推动灵境技术的发展。仿真建模和训练将是最迫切的需求，而人机接口技术、支撑软件、系统集成等技术是实现灵境的瓶颈。可以预言，灵境技术、产品和应用系统将会超前于理论研究取得较快的发展。

应切合国情制定我国灵境技术的发展战略和选准初始切入点。对发展战略的建议是：紧密结合应用，发挥软件优势，狠抓系统集成，重视中间成果向市场的转化。对切入点的建议是：以目前航空和航天领域内的仿真建模系统为起步，重视中间成果的转化，逐步地向其他应用领域扩展。

汪成为

选自《系统仿真学报》1995 年 12 月 7 卷 4 期。

15.3 综合集成研讨厅的理论框架、设计与实现[①]

15.3.1 复杂性科学与综合集成研讨厅体系

复杂性科学是一门研究复杂性和复杂系统的新兴科学，尽管目前还处于萌芽

① 基金项目：国家自然科学基金重大项目资助（79990580）。

阶段，但是已被一些科学家誉为“21 世纪的科学”[31]。复杂性研究最早的起源可以追溯到 20 世纪上半叶，1928 年 von Bertalanffy 完成了描述生物有机体系统的毕业论文。自此以后的 20 年，在这方面做出实质性贡献的人及其成果为：McCul-Loch 和 Pitts 的神经网络、冯·诺依曼的元胞自动机（cellular automata）和维纳的控制论等。

20 世纪 50～70 年代，普里高津提出了耗散结构理论，沟通了非生命系统和生命系统的内在联系，说明这两类大系统之间并没有严格的界限，表面上的鸿沟是由相同的规律所支配的。耗散结构的理论是对系统宏观性质的研究，还没有和系统的微观性质联系起来。与普里高津同时代的哈肯的协同学则沟通了从微观到宏观的通路，使系统在宏观上表现出来的规律能和微观上的运动联系起来。远离平衡态的研究是欧洲复杂性研究的代表，但是从目前的情况来看，普里高津和哈肯所研究的系统特性仍属于“简单巨系统”[32]特性的范畴，可以直接用统计学等定量工具进行处理。当这些方法运用到更复杂的系统中时，遇到了根本性的困难[33]。

1984 年，在诺贝尔奖获得者 Gell Mann 等人的发起与鼓动下，一批物理学家、理论生物学家、经济学家和计算机专家及其他学科的研究人员聚集于美国新墨西哥州的 Santa Fe，组织了一个松散的研究团体，称为 Santa Fe 研究所（SFI）。其前期的主要学术观点可概括为：复杂系统是由大量相互作用的单元构成的系统。复杂性的研究则是研究复杂系统如何在一定的规则下产生有组织的行为。近年来，SFI 的一些科学家拓宽了复杂性的研究内容，把兴趣逐步转移到对混沌边界的研究上。总体来看，SFI 认识到复杂性研究的困难在于不能用传统的方法来处理复杂系统所涉及的问题，并提出了复杂性科学这一概念。但研究这种复杂性的科学方法到底是什么，至今还没有提出明确的方法，仍处于探索和困惑之中[34]。

在复杂性科学逐渐在国外兴起的同时，我国科学家也积极开展着相关的研究。从 1986 年开始，在钱学森指导的“系统学”讨论班，对有关复杂系统的一些问题进行了探讨。经过 5 年的探讨与实践后，于 80 年代末，把对系统的研究加以拓广，提炼出开放的复杂巨系统的概念，并总结概括了处理开放的复杂巨系统的方法论[35]。在这个方法论的基础上，形成了“从定性到定量的综合集成研讨厅体系”的构思，把复杂系统的研究推上了一个新的台阶。并从概念上弄清楚了“复杂性”问题，得出如下结论：“复杂性”实质上是开放的复杂巨系统的动力学特性，或开放的复杂巨系统学的问题。由于开放的复杂巨系统也把复杂系统、复杂巨系统和开放的简单巨系统作为特殊情况，所以复杂性的研究自然也把这些系统的动力学特性概括在其范畴之中。这就对复杂性的研究方向有一清晰的把握。

综合集成研讨厅体系是处理开放的复杂巨系统的方法论，另一方面，从思维科学的层次来看，它又是思维科学的一项应用技术。它的构思是把专家们和知识库、信息系统、各种人工智能系统、计算机像作战指挥厅那样组织起来，形成一个巨型的人机结合的智能系统，共同作用于复杂问题的求解。从对综合集成研讨厅体系的构思，我们可以看出，与历史上其他方法论不同的是，综合集成研讨厅体系不是一系列公式的汇总，也不是以某几条公理为基础搭建起来的抽象框架。它的实质是指导人们在处理复杂问题时，把专家的智慧、计算机的高性能和各种数据、信息有机地结合起来，构成一个统一的、强大的问题求解系统。因此，从软硬件体系上和组织结构上实现该系统，使之能真正应用于复杂问题的研究实践显得尤为重要。本文也是面向这一目标，阐述作者所在的研究集体多年来所进行的有关综合集成研讨厅体系的理论探讨、设计和实现工作，及其主要成果。

15.3.2 综合集成研讨厅体系的理论框架与思维科学

1990 年，《自然杂志》第一期发表了钱学森等人的重要文章，题为《一个科学的新领域——开放的复杂巨系统及其方法论》，提出了“开放的复杂巨系统”的概念，及处理相关问题的方法论：从定性到定量的综合集成法。钱学森认为这个综合集成法实际上是思维科学的一项应用技术。他借鉴我国哲学家熊十力的观点，对综合集成法中的“人机结合”做了解释：人的心智可概括为性智和量智两部分。其中“性智”是一种从定性的、宏观的角度，对总的方面巧妙加以把握的智慧，与经验的积累、形象思维有密切的联系；“量智”是一种定量的、微观的分析、概括与推理的智慧，与严格的训练、逻辑思维有密切的联系。从信息处理的角度来考虑，“人机结合”把人的“性智”、“量智”与计算机的“高性能”信息处理相结合，实现定性的（不精确的）与定量的（精确的）处理互相补充，达到从定性到定量的认识。在解决复杂问题的过程中，能够形式化的工作尽量让计算机去完成，一些关键的、无法形式化的工作，则靠人的直接参与或间接作用，这样构成“人机结合”的系统。这种系统既体现了“心智”的关键作用，也体现了计算机的特长。

1992 年，在综合集成法的基础上，钱学森针对如何完成思维科学的任务——“提高人的思维能力”这个问题，概括出人机结合、以人为主、从定性到定量的综合集成研讨厅（简称综合集成研讨厅）的理论框架，包括：几十年来世界学术讨论的 Seminar、C^3I 及作战模拟、从定性到定量的综合集成法、信息情报技术、“五次产业革命”、人工智能、虚拟现实、人机结合的智能系统、系统学等。该理论框架把综合集成法中的个体智慧明确上升为群体智慧。综合集成研讨厅是专家们同计算机和信息资料情报系统一起工作的“厅”，是把专家们和知识库、信息系统、各种人工智能系统、每秒几十亿次的计算机等像作战指挥厅那样

组织起来，成为“人机结合”的巨型智能系统。“组织”二字代表了逻辑、理性，而专家们和“人工智能专家”系统代表了以实践经验为基础的非逻辑、非理性智能。所以这个“厅”是 21 世纪民主集中制的“工作厅”，是辩证思维的体现[36]。

1993 年，作者所在的研究集体以题为“智能系统的综合集成”的论文集，介绍了该集体对综合集成研讨厅体系的研究成果。其中《巨型智能系统的探讨》[37]一文从智能系统的角度，对综合集成研讨厅的理论框架进行了具体化，其要点包括：

① 研讨厅是由人与计算机系统组成的，人与计算机系统可以统称为成员。研讨厅的能力是所有成员综合集成的表现。

② 成员对世界具有特有的看法及经验，成员之间对世界的认识可有共识并可存在矛盾。

③ 成员有向其他成员学习的愿望，并具有独立思考能力。

④ 研讨厅存在着根据问题的需要构造互相协作的小团体的能力。

⑤ 小团体中的成员根据问题求解进程动态地变化。

⑥ 研讨厅是有层次的，这些层次有些是固定的，例如责任大小，有些则是动态的，例如辩论中的理由申诉。

⑦ 研讨厅中的一些特殊成员（某些人）有对问题求解所得结论的最后解释权。

⑧ 研讨厅自身是开放的，其意义是对一个问题的求解过程，研讨厅自身是动态变化的，换句话说研讨厅应有详细的信息索引。这个索引的使用过程也是动态的，它既可以来源于研讨厅已知的信息，也可以来自成员的即时推荐。

⑨ 研讨厅有能力接受实际环境变化的所有信息。

⑩ 研讨厅的通讯是畅通且方便的，这包括研讨厅与实际环境的通讯及研讨厅内成员之间的通信。研讨厅问题求解过程是通过研讨厅成员之间及研讨厅与外界的信息交换来完成的。

在这本论文集的基础上，作者所在的集体完成了《智能自动化丛书》的第一册：《智能系统的综合集成》[38]，该书于 1995 年出版。在这本书的第 10 章“巨型智能系统的探讨”中，从智能系统的角度详细阐述了“综合集成研讨厅的理论框架”。(《智能自动化丛书》共六册，荣获 1999 年国家图书奖。)

从综合集成研讨厅的理论框架与思维科学的关系，可以看出人脑与电脑相结合的信息处理在这个方法论中居于核心地位。因此，在构建实际的综合集成研讨厅系统的时候，必须以此为首要指导原则，一方面为人的信息处理和计算机的信息处理提供沟通路径和接口，另一方面从各种途径获取尽可能丰富的信息，使系统变得“聪明”。而与这些需求相适应的是，信息技术、尤其是网络技术的最新进展使得构建这样一个智能系统成为可能。蓬勃发展的 Internet 不但是构建和实

施综合集成研讨厅体系的理想场所，其丰富的信息资源和有序的内部结构为研讨厅综合集成数以百万计的网民的智慧，进而“集智慧之大成”创造了条件。同时计算机软硬件技术的发展也为我们实现这一复杂的智能系统提供了必需的工具。本文下节将探讨如何应用信息技术（尤其是网络技术）、智能技术和计算机技术的成果来设计与实现综合集成研讨厅系统，并简要介绍所取得的成果。

15.3.3 研讨厅系统的实现构思与关键技术

根据研讨厅体系的理论框架，一个实际的研讨厅系统应该由三个部分组成：专家体系、知识/信息体系和机器体系。其中：

① 专家体系由参与研讨的专家组成，它是研讨厅的主体，是复杂问题求解任务的主要承担者，专家体系作用的发挥主要体现在各个专家“心智”的运用上，尤其是其中的“性智”，是计算机所不具备的，但是问题求解的关键所在。

② 机器体系由专家所使用的计算机软硬件以及为整个专家群体提供各种服务的服务器组成，机器体系的作用在于它高性能的计算能力，包括数据运算和逻辑运算能力，它在定量分析阶段发挥重要作用。

③ 知识/信息体系则由各种形式的信息和知识组成，它包括与问题相关的领域知识/信息，问题求解知识/信息等，专家体系和机器体系是这些信息和知识的载体。

综合集成法把这三个部分连接成为一个整体，形成一个统一的、人机结合的巨型智能系统和问题求解系统。综合集成研讨厅的成功应用就是要发挥这个系统的整体优势和综合优势。因此，要讨论综合集成研讨厅体系的实现问题，需要逐个考虑这三个体系的实现问题。其中：

① 专家体系的建设涉及专家群体的角色划分问题、专家群体不良思维模式的预防及纠正、专家个体之间的有效交互方式、研讨过程的组织形式问题等等。

② 机器体系的建设涉及基本系统（包括软、硬件）框架的设计、功能模块和软件模块的分析与综合，软件系统开发方法的选择等问题。

③ 知识/信息体系的建设则涉及知识——尤其是定性知识和非结构化知识的表达与抽取问题，知识的共享、重用和管理问题，信息的获取和推荐问题等等。

针对这些问题，经过长期的研究工作，作者所在的研究集体取得许多进展，解决或初步解决了上面罗列的大部分问题。到目前为止，完成的工作包括：

（1）综合集成研讨厅的模型

由于研讨厅的复杂性，不可能仅仅采用数学方法对其进行建模。因此，我们采用语义句法描述方法，提出了一种理性与非理性相结合的研讨厅模型，为定量分析和研究研讨厅系统提供了工具，该模型同时可用于研讨过程的可视化。

（2）基于 WWW 的广义专家与协作推荐技术

WWW 中面向特定问题的权威网页可以看作是某些特殊“专家”针对该问题的观点，它们是数以百万计的网民群体智慧的体现。这些特殊“专家”与研讨厅的人类专家形成广义专家，彼此可以交互，这样就使得研讨厅讨论的成果不仅仅是若干个人类专家智慧的集结，而且包含成千上万的网民的智慧。协作推荐技术则用于解决特殊“专家”的“邀请”问题。

（3）研讨组织方法研究

以复杂性研究的一个学派—— 结构学派的交互管理理论为基础，结合研讨厅中复杂问题求解的特点，定义了研讨过程中易于出现的若干种群体不良思维模式，采用系统回路图的方式对这些不良思维模式的形成、强化过程进行描述和分析，并探讨可行的处理手段。重点针对群体思维的发散特性，分析其在从定性到定量的问题求解过程中的表现和作用，探讨了对其进行有效利用和修正的组织方式。对复杂问题求解的大致研讨过程进行了定义和划分，并提出了各个研讨阶段的组织方法。

（4）群体智慧的涌现及其可视化

结合对一类开放的复杂巨系统的研究，探讨了其中群体智慧涌现的方式，并将这种方式引入综合集成研讨厅，以促进研讨厅中群体智慧的涌现；开发了描述群体智慧涌现过程的算法和可视化软件模块。该可视化模块可以生动地表达研讨厅中专家之间的交互关系，采用颜色的深浅来表示专家意见的重要程度，具有一定新颖性。同时它有助于专家个体和群体了解当前的问题求解状态，认清分歧之所在，激发其创造性。

（5）从机器智能到人机结合的群体智慧

以传统人工智能的问题求解三元组形式，描述了开放的复杂巨系统的问题求解框架，并提出了进行综合集成研讨厅有关研究的两个基本假设。

（6）面向 Agent 的系统开发方法

针对研讨厅软件系统的复杂性，以当前流行的两种面向 Agent 的软件工作方法为基础，通过对它们的改造和合并，提出了面向 Agent 的研讨厅软件系统开发方法：MESSIA，并应用于研讨厅雏形系统分析与设计的具体实践。

（7）基于 AHP 的定性意见集成方法

通过对 AHP 方法的改进和扩展，提出了一种定性意见的集成算法和集成过程，为研讨厅中定性意见的集成提供了工具。

（8）可视化的模型集成工具对于一些现有的、同类型的模型，可以利用该模型集成工具，通过简单的鼠标拖放操作，将多个局部模型与全局模型相连接，形成一个整体模型。不同模型间的输入/输出连接、权值可以在交互界面中实时调整，同时触发整体模型的重新运行，实现“所见即所得”。

15.3.4 综合集成研讨厅雏形系统的一个实现实例

在上述成果的基础上，我们完成了以 Internet 为载体的分布式研讨厅雏形系统的研制。

该系统的分析与设计采用上节所述的面向 Agent 的 MESSIA 方法，该方法以研讨厅的组织结构图、目标描述、研讨流程和系统行为描述为出发点，首先采用自顶向下的方法将整个系统分解为六层。在每个层次采用五个视角（组织视角、目标/任务视角、角色视角、交互视角和领域视角）来抽取该层次中的实体，描述实体的角色，它的任务和目标，实体间的交互关系，以及在实体的生命周期中涉及的一些与具体领域相关的概念等。这五个视角是对同一个系统（或子系统）不同侧面性质的描述，经过互相参照，逐步进行细化和改进，可以得到各层次的角色模型和交互模型。在设计阶段，将这六个层次的两种模型自底向上的逐层综合起来，便得到了系统的层次 Agent，层次服务模型和层次熟人模型，这三种模型都以各个具体的 Agent 以核心，用图表的方式表示，这样就给开发人员提供了系统、子系统、各个部件的结构和功能的清晰参照。

从具体功能上讲，该系统实现的核心在于人机结合和综合集成思想的具体化，我们在这方面的工作主要体现在人机交互界面、人人交互工具、研讨管理、研讨流程、意见综合算法、计算机建模、模型运算、模型共享、数据共享、资源调度、基于 Internet 的信息搜索、信息推荐等模块和算法的实现上。该系统另外一个实现重点是研讨环境的开发，如图 15-4 所示。

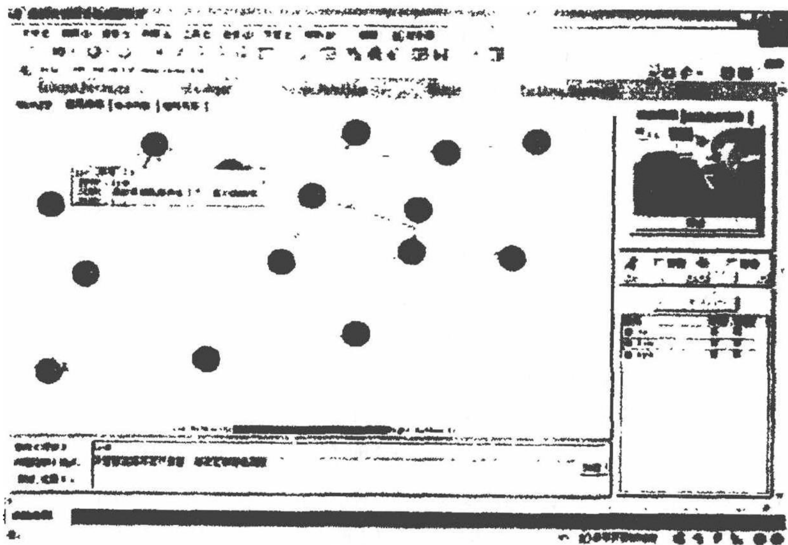


图 15-4 研讨环境运行界面

在借鉴、吸收国内外网络会议系统的基础上，我们开发了一个多媒体的远程会议系统作为研讨环境。其主要特点包括：

① 以 Internet 为载体，采用当前流行的多层业务逻辑和 Java 技术调度各种资源和设备，实现各种必需的功能，提供了灵活的扩展接口和方便的接入方式。

② 丰富的交互方式，专家可以选择视频、音频、手写板、键盘作为输入手段，有效地降低了系统使用的门槛，提高了系统的易用性，此外系统还支持无线设备的接入，使得移动研讨成为可能。

③ 数据级的共享功能，专家不但能够利用音频/视频和文字交流区域以及电子白板共享信息，而且还能通过应用程序共享和屏幕共享查看其他专家运行其本地程序的情况。在进行必要的设置之后，得到授权的专家甚至可用远程控制另外一个专家的计算机，调用其各种程序和模型，查看其数据和资料，由此实现彼此间的实时数据共享。

④ 专家动态交互关系的可视化，以研讨厅模型为基础，描述了研讨过程中由专家的发言所形成的动态网络，以及权威意见形成的过程，为专家随时了解研讨的状况提供了生动的界面。

该系统曾于 2003 年 9 月 11 日在国际应用系统分析研究所（International Institute for Applied Systems Analysis，IIASA）举办的复杂系统建模研讨会上进行演示，引起了与会专家的极大兴趣，并在一定程度上促进了他们对综合集成研讨厅这一中国科学家原创的方法论的了解和理解。

15.3.5　结论与今后的工作

作为复杂性学术界首次明确提出的方法论——综合集成研讨厅体系有着自己鲜明的特色：首先，它是思维科学的一项应用技术，其目的在于提高人的智能，以便于更好的处理复杂问题；其次，它不是一系列公式的汇总，也不是以某几条公理为基础搭建起来的抽象框架。它构成了一个统一的、人机结合的巨型智能系统和问题求解系统。因此，从软硬件体系上和组织结构上实现该系统，使之能真正应用于复杂问题的研究实践，显得尤为重要。

因此，一段时期以来我们将精力集中于采用信息技术和智能技术实现实际的研讨厅系统上，解决或初步解决了实现过程中所涉及的大量关键技术。到目前为止，我们已经开发了三个版本的研讨厅软件系统。在研究和开发过程中，我们一方面深化了对研讨厅体系理论的理解，另一方面逐步将研讨厅体系推向实际应用。从相关的反馈来看，这些工作都取得了良好的效果，使得研讨厅雏形系统基本上建立起来了。

针对现有系统尚未解决的一些问题，有两个方面需要做进一步的探讨：人机互补的问题，因为将人作为被综合集成的对象所产生的问题，将是综合集成研究

中最复杂的课题[39]。这涉及人的不精确处理和计算机的精确处理在认识、体系、表示和操作四个层次的集成问题，以及专家群体知识的综合集成的问题。另外就是研讨厅中研讨过程的结构化问题，虽然我们已经根据复杂问题求解的特点，对研讨步骤进行了定义、划分和规范化。但是这种划分仍然是比较模糊的，对步骤转换的条件没有进行严格的描述，从而增加了操作的难度，并有可能在实际应用中产生分歧。要解决这个问题，一方面需要借鉴群体决策支持技术中的相关方法，另一方面需要结合与开放的复杂巨系统相关的复杂问题的研究实践不断进行总结。

李耀东　崔霞　戴汝为

选自《复杂系统与复杂性科学》2004 年 1 月创刊号。

15.4　大成智慧工程①

15.4.1　从定性到定量的综合集成法

人们对系统的了解有一个过程，20 世纪 40 年代控制论（cybernetics）问世以后，“控制”成了自动化系统中的主要内容。后来随着计算机技术渗透到各行各业，信息及信息处理又成为重要而与控制密不可分的另一部分了。随着人工智能的发展，把人工智能的原理和方法用到控制系统的设计中，研制具有较好适应能力的系统，发展智能控制系统，把系统、控制与智能三者相结合形成智能工程成为工程专家们感兴趣与关注的工程，这里所说的大成智慧工程与智能工程不同之处在于前者强调人与计算机的结合，以及对各种信息与知识的集成，集智慧之大成为主要点，这一构思的形成有过相当长的一个阶段。钱学森通过自己在“两弹一星”等工程的实践，早在 1981 年夏到 1982 年 10 月，提出把博弈论和系统科学结合起来用于结构复杂、成员众多的对阵集团，他在指导已故的王寿云同志（原国防科工委科技委副主任）编著《现代作战模拟》一书的讨论中，从兰彻斯特（Lanchester）和奥谢波夫（Ospov）的工作中，提炼出半经验、半理论的处理复杂对阵问题的方法论，并在后来的工作中赋予这一方法论更广泛的涵义，概括为处理复杂行为系统的定量方法。这种方法是半经验、半理论的。提出经验性假设（猜想或判断），是建立复杂行为系统数学模型的出发点。这些经验性假设不能用严谨的科学方式证明，但需要用经验性数据对其确实性进行检测。从经验性假设（猜想或判断）出发，通过定量方法途径获得的结论，依然具有半经验、半理论的属性，当人们寻求用定量方法处理复杂系统时，容易注意于数学模型的

① 此项工作得到自然科学基金 79816101 的支持。

逻辑处理，而忽视数学模型微妙的经验含义或解释：要知道，这样的数学模型看来"理论性"很强，其实不免牵强附会，从而脱离真实情况。与其如此，反不如从建模一开始就老老实实承认理论的不足，而求援于经验性判断。80 年代钱老退居二线，有了比较充裕的时间考虑一些科研方面的重大问题和前沿问题。他曾经指导和亲自参加了"系统学"、"人体科学"和"思维科学"三个在北京举行的讨论班的学术活动，亲自参加讨论，发表自己的见解，使参加者受益很大。1986 年国家科委实施 863 计划，在信息领域中设立"智能计算机"主题，在"智能"与"机器智能"以及"计算机不能做什么"等问题的讨论过程中，他直接或间接地参加有关的讨论，从中总结出人的心智与计算机高性能相结合的重要意义；通过系统学多年的讨论，并结合国内有关同志的实践，提炼出许多新的观点。上述观点到了 80 年代末，形成了处理复杂巨系统的方法论，即从定性到定量的综合集成法。这一方法按钱老自己的说法，是思维科学的一项应用技术，强调了人的重要性及人的聪明才智与实践活动经验的重要性。

大成智慧工程的基础是从定性到定量的综合集成法[40-41]，这个方法是为处理开放的复杂巨系统而提出来的，简单概括如下：

将专家群体，数据与各种信息及专业知识、经验知识等，计算机软硬件系统与网络三者构成一个人机结合的系统。这个方法的成功应用就在于发挥这个系统的整体优势和综合优势。

从定性到定量的综合集成法充分发挥和体现了人机结合的思想，在综合集成的过程中人始终起着主导的作用。另外，专家在错综复杂的情况下作出的判断、提出的假设以及专家的某些"点子"是专家经验积累而形成的知识，是人的"心智"的一种体现。我们可以认为，综合集成是人用计算机的软硬件来综合专家群体定性认识及大量专家系统所提供的结论及各种数据与信息，经过加工处理从而使之上升为对总体的定量的认识。综合集成的过程是相当复杂的，即使掌握了大量的定性认识，也不是通过几个步骤、几次处理就能达到对全局的定量认识。因为复杂的、智能型的问题往往被称为结构不良的问题（ill structuredproblem），也就是说目标、任务范围、计算机允许的操作都不具有明确的定义，需要一种有反馈的过程来加以解决。结构不良的另一种含义是针对被解决的问题而言的，即所具有的知识是不完备或不一致的。例如对于同一个问题，两个专家的看法可能完全不同，发生了矛盾，这就必须靠人参与解决。另一方面当然也要发挥计算机快速处理的本领，形成人机结合的智能系统[42]。

用综合集成法解决问题，大致分为以下步骤：

① 明确任务、目的是什么。

② 尽可能多地请有关专家提意见和建议。专家的意见是一种定性的认识，肯定不会完全一样。此外还要搜集大量的有关文献资料，认真地了解情况。

③ 通过上述两个步骤，有了定性的认识，在此基础上建立一个系统模型。建模过程中必须注意与实际调查数据相结合，统计数据有多少就需要多少个参数，然后用计算机进行建模的工作。

④ 模型建立后，通过计算机运行得出结果，但结果的可靠性如何，需要把专家请来，对结果反复进行检验、修改，直到专家认为满意时，这个模型才算完成。

这个方法综合了许多专家的意见和大量书本资料的内容，不是某一个专家的意见，而是专家群体的意见，是把定性的、不全面的感性认识加以综合集成，达到定量的认识。这里充分强调了人的作用及经验知识的重要性。

15.4.2 人工智能与智能系统

研制智能系统、发展智能工程，就要考虑在自动控制领域中引入人工智能的原理与方法。从科学的发展来看，20 世纪 40 年代初在第二次世界大战的要求与影响下，计算机科学、控制论、人工智能等蓬勃发展起来，至今已取得了一些丰硕的成果。例如，知识工程所取得的成就就是人工智能引以为荣的。知识工程的历史可以说是 1969 年美国著名的科技专家费根鲍姆（Feigenbaum）公布第一个专家系统 DENERAL 开始的。此后科技人员研制开发了大量的、各式各样的专家系统。

所谓专家系统实际上是把专家的经验、知识用计算机的程序加以体现，所以也称为知识系统。例如有一位有名的大夫，他对小儿咳嗽病的诊断与治疗有丰富的经验，那么就可以把他的医疗诊断知识与经验注入计算机的程序之中，这个程序就有可能类似那位大夫作出诊断，具有相当于专家的水平。但是对这样的系统，患者难以依赖，只能起辅助作用。但专家系统的构思，具有很大的吸引力。自从 1977 年举行的国际人工智能会议上提出知识工程这一新课题以来，专家系统的飞跃发展，主要表现在两个方面。

1. 在医学、军事、教育、经济等领域中的应用

知识工程的创始人费根鲍姆在 1988 年的一份报告中估计，在美国等西方国家大约有 2000 个以上的专家系统已投入使用。其应用范围极其广泛，包括非常简单的应用，例如帮助人们填表；另外，应用在极为复杂的方面，如解决一些用一般的数学规划方法不能解决的问题。其中，诊断方面的应用居于首位。实践表明，由于采用专家系统，人们的工作效率大为提高，据说美国杜邦公司由于采用了一种在微机上运行的专家系统程序，使基本项测试工作由原来的 4 小时减少到 15 分钟，工作速度提高了 16 倍。美国一家计算机公司的一个专家系统，是根据用户要求确定计算机配置的系统。专家本人来做配置工作，一般需要 3 小时，而

用这个系统只要半分钟，速度提高了 300 多倍。也就是说提高了两个数量级。另外使用专家系统可以大大提高操作质量，对美国的一种信用卡认可的辅助决策系统就是一个采用专家系统提高操作质量的例子，据说每年可节省 2700 万美元左右。而且，由于决策质量的提高，能够防止不应有的损失。该调查报告还调查了美国知识工作者的年生产力增长情况，认为日本知识工作者的年生产力增长为 5.5%，而美国比日本则提高了几十倍、几百倍，从而说明专家系统用于工业的潜力。

2. 人机结合的智能系统

人们在人工智能的旗帜下满怀希望奋斗了多年，由于历史的局限及对问题的困难程度估计不足，40 多年来所走过的道路是曲折的。20 世纪 80 年代后期的一系列事件强烈地冲击了人工智能研究者辛辛苦苦建立起来的体系。例如，在人工神经网络的研究方面，由于反向传播网络的成功，使人工智能的研究者不得不承认，人工神经网络及大规模并行处理技术对于模拟人类的“感知”，对于实现模式识别是一条有效的途径。日本第五代计算机的研制未达到预期效果是对传统人工智能的又一次冲击。这表明传统研究所基于的理论和方法不能取得人们所预期的结果。人们从实践中开始认识到，利用并发挥人类和计算机各自的长处，把人和计算机相结合起来，才是正确的追求目标。在这种背景下，使得国内外的研究者不得不对传统的人工智能研究进行反思。

经过回顾与分析人工智能研究的历史，尤其是人们通过多年的实践，对于智能系统的追求目标有了新的认识。以往追求的目标是完全依靠机器来实现自动化。几十年的实践表明：以研制完全靠机器而不靠人的系统为目标是不够恰当的。我们要追求的是人与机器相结合的智能系统。从体系上讲，人作为一个成员，综合到整个系统中去，利用并发挥人类和计算机各自的长处，把人和计算机结合起来形成新的体系。强调人在未来智能系统中的作用，是对传统人工智能研究，也是对传统自动化研究目标的革命，这将带来一系列在研究方向及研究课题上的变革。另外，“人作为智能系统成员”的论点，包括两个层次，即界面与体系两方面的含义。人机界面是实现“人作为智能系统成员”的必要条件。这里所说的人机界面，其含义不同于那种基于图形学的人机界面，而是包含了模式识别这类涉及感知方面问题的更广义的人机界面。目前这方面的工作是十分活跃的，有代表性的研究有两类：多媒体技术和灵境技术。根据美国麻省理工学院多媒体实验室对于多媒体的论述，可以看出：多媒体技术是与模拟人类的智能行为紧密相关，换句话说，就是将人机通信的过程同样理解为一种智能行为，这是十分引人注目的。关于灵境技术，其思路是力求人在求解问题的过程中使其有身临其境之感。灵境技术使人的感觉大大拓宽，小至分子、大至宇宙都可如同亲临其境，

将使人的感觉及认知来一次飞跃。由于要模拟真实世界，因此与三维图形的表示和处理有密切关系，并且需要大型计算机与相应的物理设备。

如果说人机界面是打算解决人与计算机之间的通信问题，那么，人机体系就涉及人在系统中的地位与作用了。作为一种理想，是要做到人与计算机之间形成同伴关系，即关键之处、需要经验知识之处必须靠人，至于可以形式化的处理的地方则靠计算机，两者密切结合，以致在求解问题的过程中，甚至难以判断所使用的知识究竟是来自计算机的还是来自人的。这个理想将彻底改变人随机器运行方式进行思考的被动局面。当然，与此有关的许多问题仍有待解决，还有很长的路要走。目前，确定今后哪些工作将留给人类、哪些将留给机器的有关研究工作，科学家已在进行之中。这不禁使人想起以往在讨论自动化的有关问题时所有的一种意见：中国人那么多，搞自动化会使更多的人没事可做，那岂不成了问题吗？这就是自觉或不自觉地认为要做的构建完全靠机器而不靠人的系统。前面已说到，目标只能是人机结合，那么就没有什么可担忧的了。其实如果把“自动化”这三个字用“自働化”来代替，也就是把“动”字加上单人旁，虽然这是日本人使用的汉字，但它就把人的必不可少的作用显示了出来。

智能系统所牵涉的主要技术，可以说是人工智能与模式识别及各种传感器技术。这是因为传统的人工智能的研究与人的逻辑思维有密切的关系，而模式识别则与人的形象（直感）思维紧密相关。随着我国科学技术的发展，国内在人工智能与模式识别的研究方面已进行了大量的工作，为今后进一步的发展打下了比较坚实的基础。至于大成智慧工程，除了人工智能与模式识别及各种传感器外，还充分注意到人的作用，注意群体专家的经验、猜测及定性知识的重要性，其目标是人机结合的综合集成系统。

15.4.3 综合集成法的应用

作为大成智慧工程基础的综合集成法问世以来，可以说经过了一个较长阶段，人们才认识到它的重要意义。近年来国外提出“复杂自适应系统”，致力于建立一门新的学科——复杂性科学。目前在网络上有了不少用计算机模拟复杂系统演化过程与“突现（emergence）”的生动例子，但未见到提出有普遍意义的方法。至于从定性到定量的综合集成法，是为了处理开放的复杂巨系统而提出的方法论，具有自己的特色，对复杂性的研究做出了贡献。到目前为止，不同领域的科技工作者，曾用这一方法，或这一方法的构思解决自己遇到的问题并取得一些令人鼓舞的结果，下面举几个例子。

1. 集成型模式识别[43]

模式识别（pattern recognition）是人的一种能力，一种直感。人在长期的

实践过程中，由于经验的积累，在脑中形成各种各样的称之为“模板”的意象。当外界有一个模式通过感官输入时，如果与某个模板大致相一致，就认为与模板相匹配，达到了再一次认识，所以模式识别又被认知心理学家称为再认，实际上是自动分类问题。传统的人工智能领域的专家，着重于逻辑推理，所以大都不把模式识别归于人工智能的范畴，但不可否认模式识别是人的一种智能。自从计算机广泛应用以来，用计算机来实现模式识别，如字符的识别、语音的识别、图像的识别等，开展了大量的工作，研制各种各样的识别系统。以往是着重于研制一个识别系统，对该系统精益求精，最终该系统能达到提出的各种技术要求。按照综合集成法的构思，有了一些新的、发挥人的作用与进行集成的办法。在研制识别系统的过程中，采取的两项措施是：

① 发挥人的作用，采用对识别系统进行训练的方法，即系统的一些参数是通过一些模式样本作为训练集而确定的，至于对某个训练样本而言，该样本究竟属于哪一个模式类，是由人或称为“教师”决定的。这种通过一些学习样本，由教师指定样本的类别，从而决定识别系统参数的方法，称为“有教师的学习”或监督学习。此外，设计者不是致力于研制一个性能达到要求的识别系统，而是研制若干个识别系统，每个系统都是采取“有教师的学习法”，把人的作用体现出来，对于某些质量很差或畸变很大的模式，如较模糊，或有缺损等情形，要求机器直接对该模式进行识别难度很大，但作为教师的人，根据他的经验和知识很容易就知道它应该归于哪一类。

② 在若干个识别系统的基础上，采取一定的办法，例如用串联式或并联式的网络，把若干个识别系统加以集成，形成一个大的、若干个识别系统集成起来的系统，这个系统可以是一个闭合回路的系统，还可以进一步用有教师的学习法来加以训练，把人的智慧注入系统之中，通过实验表明其识别率可以高于参与集成的任何一个系统。而这种集成型识别系统可实现的功能，不是传统模式识别中所说的“非线性映射”，而是具有反馈的非线性系统。集成型识别系统的框图如图 15-5 所示。

以上所说的办法具有普遍意义，可以用于一般的模式分类，已经比较成功地用来解决手写汉字识别的问题。手写汉字识别由于不同人写的字差异甚大，字符形状变化多端，日常使用的汉字按国家标准共计 3755 类，是个大类别的分类问题，难度很大，被认为是模式识别领域中最大难题之一。笔者与他的同事们利用人工神经网络构建的识别系统，把三个汉字识别系统进行并联集成，多次利用有教师的学习算法，对单个识别系统与集成网络进行训练，确定各个识别系统与网络的参数，取得正确识别率高于 90％的结果。

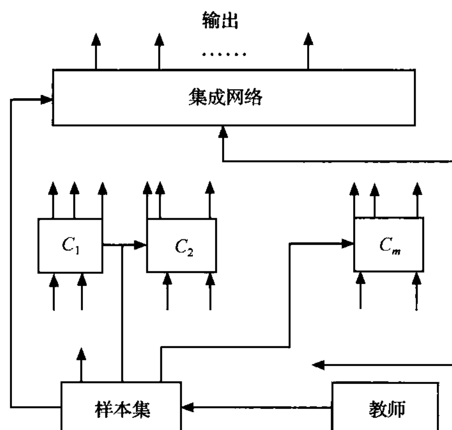


图 15-5　集成型识别系统框图（C_1，C_2，…，C_m 为识别器）

2. 三峡工程散装水泥/粉煤灰调运信息系统

1997 年 11 月 8 日，长江三峡工程以大江截流为标志，已顺利完成了一期工程进入二期坝体浇筑阶段。据测算，其间年平均水泥/粉煤灰需求量将从一期工程的 40 万吨剧增到 100 万吨，高峰月时会超过 10 万吨。运抵工地的水泥/粉煤灰合理分配到两岸七个拌和系统及中转贮料罐群的近 100 个料罐中。供应厂家主要分布在长江沿岸以及京广、陇海、焦柳等干线铁路沿线。像三峡工程这样世界一流的大型水利水电综合开发工程的水泥/粉煤灰调度是十分复杂的问题。1998 年 7 月，三峡工程的物资部委托华中理工大学系统工程研究所，在一期工程基础上进行三峡工程散装水泥/粉煤灰调运信息系统的研制工作。其目标是采集散装水泥/粉煤灰需、产、运、储、供、管等有关信息，实现散装水泥/粉煤灰的供应，从物资需求计划、资源综合平衡、采购计划制定、调运方案生成、调运方案仿真、方案执行监控、应急处理到信息查询、统计分析、报表编制和公共信息发布等各环节，全过程统一管理的实时动态调度指挥系统。

系统工程研究所的科教人员认真贯彻产、学、研相结合的方针，长期工作在长江三峡工地。三峡总公司物资部则组织了以调度处为主体、综合处和建材处共同参与的队伍。在此基础上，双方成立了开发组，共同承担调运信息系统的开发工作。值得强调的是综合集成法在这一复杂系统的分析、设计和实施中起了重要的指导作用。他们采用综合集成法，将不同的技术、不同平台的应用系统、管理规则、系统用户及其经验有机地结合起来，从而确定了系统的整体目标，在正确的技术路线的指导下，于 1999 年 7 月完成了系统的开发。系统主要包括调度中心和信息采集点两大应用部分。信息采集点应用部分包括一组面向散装水泥/粉

煤灰需、产、运、储、供、管等各个调运环节动态信息系统的专门应用，是做好全局调度指挥的基础和保证。这些应用包括九类不同性质和用途的子系统。调度中心应用部分包括一组面向业务管理和调度决策的具体应用软件和十类不同性质与用途的子系统。1999 年 7 月以综合集成法为指导的三峡工程散装水泥/粉煤灰调运信息系统已经通过教育部主持的鉴定，投入运行，得到了三峡指挥部领导的高度评价。

3. 隧（坑、巷）道支护设计[44]

综合集成法问世以来产生了很大的影响，在一些领域中开始用系统的观点来考虑和处理所遇到的十分复杂的问题。总参工程兵第四设计院与中国科学院工程地质力学开放实验室协作进行了两项工作：坑道工程围岩分析超前预报智能系统和典型类比法在理论和应用上的发展。前者与开放的复杂巨系统及综合集成法有着十分密切的联系。地层在开挖隧道并加以支护的过程中的稳定程度，叫做隧道围岩稳定性，或围岩-支护系统稳定性，这是一个反映隧道地质环境、支护结构与施工方法的综合指标。隧道围岩稳定性分析是一个具体的工程技术问题，充满了矛盾，纷繁多变、难以定量描述，由多层次的子系统组成。隧（坑、巷）道围岩-支护系统稳定问题所具有的开放的复杂巨系统的性质，决定了它只能通过多学科理论方法、专家群体经验、监控测量技术与计算机技术三者综合集成的途径。典型类比分析法（precedent type analysis，PTA）是在我国隧道工程中于 20 世纪 80 年代提出的，是一种信息化设计技术，其特点是信息反馈修正、半经验、半理论、定量计算、半定量使用，现已用于“条件复杂，信息匮乏”为特点的隧道围岩稳定性的快速分析与概略预测。

参加上述两项工作的专家们在自己的实践过程中，不断学习与开放的复杂巨系统有关的论述及综合集成法，并用于指导和改进自己的工作。经鉴定，得到如下结论：第一项工作是近年来提出的开放的复杂巨系统理论与综合集成法在坑道工程设计施工技术中的成功应用；类比分析法的提出者则认为[44]，典型类比分析法有如淙淙小溪，综合集成法则似浩瀚江河，异途同归，百川归湾。

15.4.4　人机结合的综合集成研讨厅体系[42,45]

前面我们对大成智慧工程的讨论，扼要地阐述了综合集成法的提出是方法论上的一个飞跃，可以把一类非常复杂的事物的各个方面综合起来集其大成。在综合集成法问世的第二年，钱学森进一步提出“从定性到定量的综合集成研讨厅体系”（hall for workshop of metasynthetic engineering）。他的构思是把今天世界上成千上万人的聪明才智和已经不在世的古人的智慧都综合起来。我们体会到研讨厅体系体现了它的构思者在长期的科研实践过程中受益于“讨论班”（work-

shop）的心得与经验（有好的学术带头人，能充分发扬学术民主；不论职位高低均能参与讨论，无保留地敞开思想，与众交流，知错就公开宣布改正；培养人们在众多尖锐质问下，于瞬间阐明自己观点的能力。有这样的学术环境，才能称为讨论班），及对当代计算机软硬件环境的重要意义的了解。同时研讨厅体系还体现出它的构思者把自然科学、社会科学与哲学三者相结合所形成的观点。说得确切一些，研讨厅体系中的人并不是未加训练的老百姓，而应该是在我国发展两弹一星的历史中曾经培养出来的那种具有高度的革命觉悟，高度的组织纪律性和高度的科学性的人。

应该强调的是，从定性到定量的综合集成研讨厅体系的设想，一方面是在系统中把以往只能体现出“个体”的经验知识上升为能体现出“群体”的经验知识，另一方面是用语言和符号表达联接起来的知识体系来提高人的意识，并把意识提高到思维。最近，国外心理学家重新发掘出 20 世纪 30 年代被埋没的原苏联心理学家 Lev Vygotsky 的学说，该学说认为语言在人意识中起着中心作用。研讨厅体系可以说是这一思想的进一步发展。研讨厅体系并不局限于专家群体在一个固定的空间中，对解决十分复杂的问题进行研讨，而是可以利用网络和信息技术，采取分布式的方式，专家们可以在不同的地方通过多媒体技术发表意见互相商讨，还可以利用多智能体（multi-agent）为专家们从网上获取信息，或协助做其他的事情。总之，有了通信网络的支持，将会使从定性到定量的综合集成研讨厅变得十分灵活、有效，达到人才资源的共享，为决策的科学化和民主化提供现代化手段。

清华大学自动化系的教师把综合集成研讨厅体系框架用于电力系统的调度这样一个十分复杂的大系统。随着我国经济体制的转变，多空办电、分级管理、统一调度的电网管理体制正在逐步形成，因此对电网优化调度和商业化运营提出了更高的要求。

电网调度分长、中、短期调度，又称年、月、日调度。按调度要求（如年调度或日调度）建立网的模型和目标函数的要求不同，网的模型和目标函数也不同。传统的做法是利用分解协调原理将复杂的大系统分解成若干个子问题，如火电厂子问题、水电厂子问题。按电网的实际组成可能还要进一步分解，如水电厂子问题间存在关联，所以通常采用关联预估算法、聚合分解算法等进行求解。在年调度中求出每个月每个水库的放水策略，以使年水电发电量最大。在日调度中求出每个电厂一天的发电量以及每个机组的开机和关机方式，以求得煤耗量最小或全网收益最大的目标函数。由于采用各种大系统优化算法的同时，在建模和约束条件中都会有一些近似处理，并且难以定量地考虑一些实际因素，因而计算出的结果与实际操作之间往往有较大的差距。近些年来，专家系统、人工神经网络等在负荷预报、来水预报中已经得到应用，定性与定量相结合的智能调度方法也

为电网调度人员所接受，并在实际应用中获得满意的效果。实践证明，综合集成研讨厅的体系框架是处理复杂大系统的有效方法。

按照开放的复杂巨系统的观点，社会经济系统是一个开放的复杂巨系统，对于宏观经济的决策或提供决策的支持系统是十分复杂的。为了致力于把宏观经济决策建立在科学化和民主化的基础之上，国家自然科学基金委已于 1999 年 6 月确定了一个重大自然科学基金项目：支持宏观经济决策的从定性到定量的综合集成研讨体系。这项工作是把综合集成的思想用于宏观经济决策，这对大成智慧工程的进展是一次有力的推动。

戴汝为

选自《冶金自动化》2000 年第 1 期的“综述与评论”栏目。

参考文献与注释

[1] Newell A，Simon H A. Computer Science as Empirical Enquiry：Symbols and Search.

[2] Lenat D B，Feigenbaum E A. On the thresholds of knowledge. Artificial Intelligence，1991，41.

[3] Brooks R A. Intelligence without representetion. Artificial Intelligence，1991，41.

[4] 刘宝泉，刘永清. 从思维科学看人工智能的研究. 计算机科学，1994，21 (5).

[5] Reddy R. To dream the possible dream. CACM，1996，39 (5)：105-112.

[6] 章士嵘. 认知科学导论. 北京：人民出版社，1992.

[7] 林超然. 现代科学哲学教程. 杭州：浙江大学出版社，1988.

[8] Kirsh D. Foundations of AI：The big issues. Artificial Intelligence，1991，41.

[9] 洪家荣. 认识论应成为人工智能的主要基础. 计算机科学，1992，19 (2).

[10] 洪家荣，思维模拟——人工智能的根本途径. 计算机科学，1991，(4).

[11] Wilkws W V. 人工智能研究的历史与展望. 计算机科学，1993，20 (3).

[12] MaCarthy. 谈人工智能研究途径. 计算机科学，1991，(1).

[13] Agre P E. Computational research on interaction and agency. Artificial Intelligence，1995，72：1-52.

[14] Chaib-draa B，et al. Trends in distributed artificial intelligence. Artificial Intelligence Review，1992，(6)，35-66.

[15] Dreyfus H L. 计算机不能做什么. 北京：三联书店，1986.

[16] 戴汝为. “人机结合”的大成智慧. 模式识别与人工智能，1994，7 (3).

[17] Reddy R. The challenge of artificial intelligence. IEEE Computer，1996.

[18] Harmanis J. 关于计算复杂度及计算机科学的本质——93 图灵奖演讲. 计算机科学，1995，22 (2).

[19] O' Leary D E. The internet，intranet，and the AI renaissance. IEEE Computer，1997.

[20] Nardi B A，et al. Collaborative programmable intelligent agents. CACM，1998，41 (3).

[21] Genesereth M R，et al. Software agent. CACM，1994，37 (7).

[22] 王怀民，等. 基于 Agent 的分布计算环境. 计算机学报，1996，19 (3).

[23] Wooldridge M . Agent-based software enginering. IEEE Proceeding Software Engineering，1997，144 (1).

[24] 樊晓聪，等. 面向 Agent 软件工程（Ⅰ）（Ⅱ）. 计算机科学，1998，25 (3-4).

[25] 周永林，潘云鹤，面向 Agent 的分析与建模. 计算机研究与发展，1999，36 (4)：410-416.

[26] 张东摩，李红兵. 人工智能研究动态和发展. 计算机科学，1998，25（2）.
[27] 汪成为. 由 VR（Virtual RealI ——灵境或虚拟现实）技术所支撑的多维信息空间（CyberSpace）是21世纪的人机和谐仿真环境灵境技术研讨会，1995.
[28] Pimentel K，Teixeira K. Virtual Reality. New York：McGraw-Hilll，1993.
[29] Larry S. Virtual Reality Now. Cambridge：MIT Press，1994.
[30] Grigore Bttrdea. Philippe Coifet Virtual Reality Technology. New York：Wiley，1994.
[31] Waldrop M. 复杂：诞生于秩序与混沌边缘的科学．陈玲译．北京：三联书店，1997.
[32] 钱学森．创建系统学．太原：山西科学技术出版社，2002.
[33] 王寿云，于景元，戴汝为，等．开放的复杂巨系统．杭州：浙江科学技术出版社，1996.
[34] Horgan J. From complexity to perplexity. Scientific American，1995，272：74-79.
[35] 钱学森，于景元，戴汝为．一个科学的新领域：开放的复杂巨系统及其方法论．自然杂志，1990，13（1）：3-10.
[36] 戴汝为．钱学森对系统科学、思维科学的重大贡献．见：宋健．钱学森科学贡献暨学术思想研讨会论文集．北京：中国科学技术出版社，2001：54-58.
[37] 戴汝为，王珏．关于巨型智能系统的探讨．自动化学报，1993，19（6）：645-655.
[38] 戴汝为，王珏，田捷．智能系统的综合集成．杭州：浙江科学技术出版社，1995.
[39] 戴汝为，王珏．关于智能系统的综合集成．科学通报，1993，38（14）：1249-1256.
[40] 钱学森，于景元，戴汝为．一个科学的新领域——开放的复杂巨系统及其方法论．自然杂志，1990，13（1）：3-10.
[41] 戴汝为．从定性到定量的综合集成（Metasynthesis——开放的复杂巨系统的方法论）．见：刘元亮．来自科学前沿的报告．北京：清华大学出版社，1996.
[42] 戴汝为，王珏，田捷．智能系统的综合集成．杭州：浙江科学技术出版社，1995.
[43] 戴汝为，郝红卫，肖旭红．汉字识别的系统与集成．杭州：浙江科学技术出版社，1999.
[44] 李世辉，等．隧道支护设计新论——典型类比分析法应用和理论．北京：科学出版社，1999.
[45] 清华大学自动化系．智能信息处理和智能控制．杭州：浙江科技出版社，1998：391-409.

编　后　记

我唯一一次见到钱学森是在 1957 年初夏。5 月 11 日下午两点半，在北京大学的大膳厅，他应邀为北大学生作了“关于向科学进军的几个问题”的报告。当时我是哲学系大一的学生，不仅听了报告，而且在日记中留下了比较详细的记录。他讲的主要是科学研究方法问题，对我后来的学习、教学与研究都起了重要指导作用。1979 年见到他在《哲学研究》第一期上发表的《科学学、科学技术体系学、马克思主义哲学》一文后，引起我的极大兴趣，开始注意、搜集、积累他的有关资料。其中，尤其感兴趣的是关于思维科学的论著。1982 年冬，见到学校搜集到的中共中央党校哲学教研室编的《现代科学技术》（第一辑）（1982 年 9 月），1985 年见到钱学森在全国第五代计算机学术研讨会开幕式上的讲话《我国智能机的发展战略问题》一文的打印件，都如获至宝，不仅认真阅读，并且再也没有撒手，保存至今，成为非常珍贵的资料。

20 世纪 80 年代，由于教学任务非常繁重，虽然对钱学森提出的现代科学技术体系、尤其是思维科学非常感兴趣，却没有时间和精力进行研究。1989 年冬，学校为提高学生的思维能力要我开设思维科学方面的新课，这才开始坐下来进行一些研究，1992 年开始讲授《思维奥秘探索——思维学导引》，并于 1994 年作为教材出版。当时，将此书寄给钱老，并写了一封信，希望得到指导。但钱老并没有给我回信，而是将书转给戴汝为，让他找我谈谈。此前，我与戴汝为并不认识。戴汝为除转达钱老对我工作给予的肯定和寄予的希望外，还介绍了思维科学界的情况，并赠给了一些资料。在 1996 年 9 月钱学森的《人体科学与现代科技发展纵横观》出版之前，我就从北大得到内部版本，认真地进行了研读，正式出版后，又进一步地仔细研读，并将有关思维科学的内容开始摘编。1998 年 1 月，戴汝为赠送给我一本《开放的复杂巨系统》，使我开始跨出思维科学领域，对系统科学有所了解，尤其是使我见到一些钱学森的书信，引起我对钱老书信的关注。同年春，经北大哲学系冯国瑞教授推荐，有幸协助北大“现代科学与哲学研究中心”主任赵光武教授策划、组织“思维科学与哲学”专题研讨会，并在赵光武教授的领导下编辑研讨会文集《思维科学研究》一书。此间，得到戴汝为的大力支持，不仅应邀为研讨会作了主题报告，而且提供了很多重要资料，丰富了文集的内容。2001 年，我在参与北大“现代科学与哲学研究中心”策划、组织“钱学森与现代科学技术”研讨会期间，为准备《钱学森与思维科学》学术报告，开始将我所搜集、积累的钱学森有关思维科学的各种资料进行初步整理，开始意

识到这些资料的宝贵和重要。研讨会时得到《钱学森手稿》，尽管我的英语不行，但仍硬着头皮去“啃”，深为钱老的严谨学风所倾倒。2001 年底，钱学森的《创建系统学》一书出版，我如饥似渴地研读，除加深对系统科学的理解外，着重将有关思维科学的文章与书信进行摘编，使钱学森的思维科学文献初具规模。这是我 2005 年完成“普通高等教育‘十五’国家级规划教材”《创新思维学引论》的思维科学经典著作基础。2006 年 12 月，戴汝为院士又赠送他的新著《社会智能科学》，书中除将他近 20 多年来思维科学研究的成果系统化外，对我来说尤其珍贵的是附录了 119 封钱老给他的信和两篇谈话，丰富、充实了我所积累的钱学森思维科学文献。2007 年 5 月，当我听说《钱学森书信》出版时，立即请“钱学森办公室”的同志帮助，在书尚未上市时，6 月 1 日就从出版社买到了该书，开始阅读，在通读的基础上将有关思维科学的书信选出来，按照时间顺序编入钱学森的思维科学文献。这是 2008 年 5 月我在第 324 次香山科学会议上能够作《现代科学技术体系中的思维科学》中心议题报告的必备基础。

编辑、出版钱学森关于思维科学的经典著作，是当前思维科学研究的迫切需要。近四年来，《钱学森科学技术思想研究丛书》编委会经过反复讨论，确定了《钱学森思维科学思想》一书编辑的指导原则，为此书的出版提供了可贵机会。

在编辑过程中，由于篇幅所限，作为思维科学背景的一些论文与学术报告，都删减掉了，只能选直接阐述思维科学内容的部分。谈及思维科学的书信，数量很大，都收进来是不可能的，必须有所选择；如何选择，是编辑此书的最大难点，不同的理解，可能有不同的侧重。不过，不论如何理解，钱老从 20 世纪 80 年代后期开始，对思维科学的关注重点同以前有很大不同，以前谈论比较多的是思维科学的基础科学方面，以后注重的是思维科学的技术科学与工程技术方面，这是谁也否认不了的客观事实。因为从 80 年代中期以后，他本人的注意力主要放在提炼、创建开放的复杂巨系统理论、从定性到定量综合集成法、从定性到定量综合集成研讨厅体系、大成智慧工程与大成智慧学方面，这是他晚年科学技术上原始创新的主要成就，也是他思维科学理论体系中的主要内容。他提出的从定性到定量综合集成法、从定性到定量综合集成研讨厅体系、大成智慧工程，一方面是在他的学生、同道实践基础上提炼出来的，也是与他的这些学生、同道一起讨论中形成的，至于把这些思想变成现实，更是靠这些学生与同道。1995 年 5 月 8 日见到王寿云、汪成为向他报告建立研讨厅的情况后，非常高兴，在回信中说：“我要向您二位祝贺已取得的成绩：已有了个能运转的研讨厅体系了。”兴奋之情，溢于言表。1992～1996 年在国家 863 计划智能计算机主题的支持下，由于景元主持、戴汝为参与完成了“综合集成的宏观经济智能决策支持系统”，是研讨厅的第一次重要实践。“支持宏观经济决策的人机结合综合集成体系研究”，是 1999～2003 年国家自然科学基金支持的国家重大基金项目，由戴汝为主持完

成，是研讨厅的第二次重大实践。现在，研讨厅已经被各种工程、科研、管理等很多领域所采用。在思维科学的理论体系中，研讨厅具有非常重要的意义，不仅使思维科学的理论与工程技术得到广泛应用，而且是社会思维的具体实现形式。这些都是钱学森 90 年代以后的书信中谈论的主要内容。因此，这是我们不能不选的。

由于钱学森晚年已经把思维科学的注意力转移到工程技术方面，国家大力支持的也是工程技术方面的课题，90 年代以后思维科学领域发表论文最多、水平最高的也是工程技术领域，因此，我们在部分学者对钱学森思维科学思想的探索研究方面，选择的工程技术方面的内容较多，基础科学方面的论文较少。这些都不是哪个人说了算数的事，而是有从“中国期刊数据库”网上下载的近 30 年来思维科学领域 60 多位专家、学者的 2000 多篇论文作为比较、选择的根据的。

为便于读者理解书信的内容，尽我们最大努力搜集收信人的资料，为部分收信人加了注释。其中，凡是同本人能够联系上的，都征求了本人的意见；没有同本人联系上的，希望见到本书后，能够就注释中存在的问题提出修改意见，以便将来改进。至于有少数收信人，根本找不到任何相关资料，自然无法加注释，也请各该收信人与读者谅解，更望能够提供相关资料。

凡是文章中原有的注释，因为我们无权、也没有能力进行修改，故一律保留在参考文献中，只是按出版社的要求，以章为单位统一编号，形式上做些调整。凡是原有的题注，基本照录；编者加的题注，后面都加“（编者）”；收信人的注释都是编者所加；对原文中差错，也加了编者注。为与原来的注释区别，均采用脚注，用圆圈中加数字的形式标出。《钱学森书信》中原编者加的“注文”，都在信尾照录。原文发表时有中英文摘要、关键词、题目、作者的英文、少数图表和中文参考文献的英文，均省略掉。

在此书编辑的过程中，得到很多专家、学者的支持与帮助，特别是李德华、张光鉴同志，毫无保留地提供了钱老给他们书信的复印件；李世辉、徐章英等同志提供了部分书信的复印件；《钱学森科学技术思想研究丛书》编委会的全体编委，反复审阅、讨论了书稿，提出了许多宝贵的修改意见。由于人数众多，无法一一列出，只好在这里一并致谢！

单凭我的学识、功底和极其有限的资料来编“国家杰出贡献科学家”钱学森关于思维科学的论著与一些著名专家学者对钱学森思维科学思想探索、研究的成果，深感难度远远超过我所能承受的极限，尽管我已经竭尽全力学习所不懂的科学技术，但是遗漏、选择不当以及其他缺点势必在所难免，诚望各位专家、读者批评指正。

编 者

2010 年 4 月初稿，9 月修改，2011 年 2 月再改，8 月定稿